

SIMONE PEDRO DA SILVA

**CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DAS FRAÇÕES DE PROTEÍNA E CARBOIDRATO
EM FORRAGEIRAS TROPICAIS E SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE
CAPRINOS**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

SIMONE PEDRO DA SILVA

**CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DAS FRAÇÕES DE PROTEÍNA E CARBOIDRATO
EM FORRAGEIRAS TROPICAIS E SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE
CAPRINOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2010

Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira

(Co-Orientador)

Prof. José Carlos Pereira

(Co-Orientador)

Prof. Iran Borges

Prof. Carlos Elysio Moreira da Fonseca

Prof. Marcelo Teixeira Rodrigues

(Orientador)

No vai-vém da vida as coisas se mostram como elas são. O que hoje é sorriso pode virar lágrima amanhã então cada momento deve ser vivido e aproveitado ao extremo, pois o futuro não nos pertence. A melodia que devemos sempre guardar em nossas mentes é amar em excesso e ter prazer em tudo que fazemos, pois quando o último suspiro terminar, essa é a lição que deixaremos para aqueles que ficarem.

Casimiro de Andrade

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida

À minha família, meus pais, irmã e cunhado.

Ao Manoel Eduardo por saber me ouvir, sempre estar ao um lado e acima de tudo me ensinar a amar.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização desse projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Marcelo T. Rodrigues pela orientação e ao prof^o Ricardo Vieira pelo dedicado empenho nos dados estatísticos. Aos professores do Departamento de Zootecnia, pela amizade, confiança e dedicação com que conduziram minha formação.

Aos meus amigos Renata, Daniel, João Paulo por saberem me ouvir e aconselhar nos momentos difíceis

Aos companheiros de curso e cabriteiros Clarindo, Nívea, Rogério, Timótheo, Ronan, Lisa, Miller, Gilson, Daniel. Em especial à Márcia por me ajudar nas árduas análises laboratoriais e por ter uma enorme paciência para me ajudar nos difíceis passos desse trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal: Plínio, Monteiro, Fernando, Raimundo, Wellington, Valdir e Mário, pelo carinho, ensinamentos e colaboração durante a temporada de análises. Aos funcionários do Departamento de Zootecnia: Celeste, Venâncio, Edson, Sr. Jorge, Natanael, pelo auxílio e agradável convívio.

Aos funcionários do Setor de Caprinocultura pela convivência harmoniosa e pela prontidão em ajudar durante a condução da fase experimental deste trabalho

As estagiárias, Paola, Carla, em especial Catharina e Gerlane que se deslocaram de tão longe. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA

SIMONE PEDRO DA SILVA, filha de Francisco Pedro da Silva e Maria Josefa da Silva, nasceu na cidade de Osasco SP, em 18 de abril de 1983.

Em 2003, iniciou o curso de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, e graduou-se em 2007.

Em março de 2008, matriculou-se no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de mestrado na Universidade Federal de Viçosa, área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xx
1. Introdução Geral.....	1
2. Revisão de literatura.....	3
3. Referências bibliográficas.....	22
Capítulo I - Fracionamento e atributos cinéticos da digestão no rúmen dos carboidratos e compostos nitrogenados de forrageiras tropicais	
RESUMO.....	28
Introdução.....	29
Material e Métodos.....	31
Resultados e Discussão.....	38
Conclusões.....	49
Referências bibliográficas.....	50
Capítulo II - Simulação do consumo e do desempenho de caprinos em crescimento alimentados com forrageiras tropicais	
RESUMO.....	53
Introdução.....	54
Material e Métodos.....	56
Resultados e Discussão.....	73
Conclusões.....	82
Referências bibliográficas.....	83
Conclusões gerais.....	85
Apêndice.....	86

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

1	Análise bromatológica das forrageiras.....	38
2	Frações da proteína presente nas plantas forrageiras.....	41
3	Teores e taxas de degradação das frações nitrogenadas.....	45
4	Frações de carboidratos presente nas plantas forrageiras.....	46
5	Teores e taxas de degradação das frações de carboidratos.....	47

CAPÍTULO II

1	Composição bromatológica, frações e parâmetros da cinética de degradação das proteínas e carboidratos capim-tifton 85, amoreira e leucena.....	57
2	Exigências em energia metabolizável e proteína metabolizável.....	73
3	Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de capim-tifton 85.....	73
4	Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de amoreira...	74
5	Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de leucena.....	74
6	Consumo de matéria seca que causa repleção ruminal no rúmen-retículo de caprinos em crescimento.....	75
7	Consumo de matéria seca que atende demanda energética.....	75
8	Energia e proteína metabolizável disponível ao animal de caprinos em crescimento.....	76
9	Produção de massa microbiana estimada para caprinos em crescimento ingerindo forrageiras distintas.....	79
10	Valores de nutriente digestíveis totais (NDT) estimados pelos diferentes modelos.....	80

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

1	Sistema para medição de pressão e de volume.....	36
---	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

CAPÍTULO II

Abreviação	Unidade	Descrição
A	g/kg	Teor de nitrogênio não protéico no alimento
A'	g/kg	Teor de carboidratos solúveis em detergente neutro no alimento
B1	g/kg	Teor de proteína solúvel em detergente neutro no alimento
B1'	g/kg	Teor de carboidratos não fibrosos, porém, insolúveis em detergente neutro no alimento
B2	g/kg	Teor de proteína potencialmente degradável, porém, insolúvel em detergente neutro, no alimento
B2'	g/kg	Teor de carboidratos fibrosos potencialmente degradáveis no alimento
C	g/kg	Teor de compostos nitrogenados indegradáveis no alimento
C'	g/kg	Teor de carboidratos não degradáveis no alimento
CT	g/kg	Teor de carboidratos do alimento
[ELt]	MJ/kg	Teor de energia líquida total da ração
F	g/kg	Teor de fibra no alimento
FE	adimensional	Teor de fibra fisicamente efetiva da ração
GB	g/kg	Teor de gordura bruta no alimento
MM	g/kg	Teor de matéria mineral no alimento
PB	g/kg	Teor de proteína bruta no alimento
[PM]	adimensional	Teor de proteína metabolizável da ração total
[TNAD]	adimensional	Teor do total de nutrientes aparentemente digeríveis da ração
AGV	g/d	Quantidade de ácidos graxos

voláteis produzidos

Abreviação	Unidade	Descrição
BACNFpepup	g/d	Quantidade de peptídeos retidos pelas bactérias que utilizam carboidratos não fibrosos
BACT	g/d	Biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal total de carboidratos fornecidos pelo alimento
BACTCF	g/d	Biomassa de células microbianas produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos fibrosos fornecidos pelo alimento
BACTCFred	g/d	Redução na quantidade de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
BACTNF	g/d	Biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos não fibrosos fornecidos pelo alimento
BACTNFmass	g	Biomassa de bactérias que utilizam carboidratos não fibrosos
BACTred	g/d	Redução na quantidade de bactérias devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
BNAR	g/d	Balanço do nitrogênio amoniacal ruminal
CA'	g/d	Quantidade de fração A' fornecida pelo alimento
CB1'	g/d	Quantidade de fração B1' fornecida pelo alimento
CB2'	g/d	Quantidade de fração B2' fornecida pelo alimento
CC'	g/d	Quantidade da fração C' fornecida pelo alimento
Cd	adimensional	Coefficiente de digestibilidade intestinal da fração B1'

Abreviatura	Unidade	Descrição
CED	MJ/d	Montante de energia digerível disponível ao animal, provida pela ração
CEM	MJ/d	Montante de energia metabolizável disponível ao animal, provido pela ração
CEM/UTM	MJ/kg ^{0,75}	Montante de energia metabolizável disponível ao animal corrigida para a unidade de tamanho metabólico
CF	g/d	Quantidade de carboidratos fibrosos fornecida pelo alimento
CF%M	%	CF/kg corrigido para a % da massa corporal do animal
CF/kg	kg/d	CF corrigido para kg/d
CFred	g/d	Quantidade da fração B2' não degradada pelas bactérias que utilizam carboidratos fibrosos
CFredRazão	adimensional	Razão entre CFred e o total de DRB2'
Cinzas	g/d	Quantidade de cinzas fornecida pelo alimento
CNF	g/d	Quantidade de carboidratos não fibrosos fornecida pelo alimento
CPEPUP	g/d	Quantidade de peptídeos degradados que foram utilizados pelas bactérias mais os peptídeos que escaparam do rúmen
Crescimento	h	Tempo necessário para o crescimento bacteriano admitindo a taxa de passagem de líquidos
CT	g/d	Quantidade de carboidratos totais fornecida pelo alimento
Desaparecimento	h	Tempo necessário para o desaparecimento das bactérias e dos peptídeos
DIANM	g/d	Digestibilidade intestinal dos ácidos nucléicos microbianos
DIB1	g/d	Digestibilidade intestinal da fração B1 que escapa à degradação ruminal
DIB2	g/d	Digestibilidade intestinal da fração B2 que escapa à degradação ruminal

Abreviatura	Unidade	Descrição
DICA	g/d	Digestibilidade intestinal dos carboidratos oriundos do alimento
DICM	g/d	Digestibilidade intestinal dos carboidratos microbianos
DIG	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura total
DIGA	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura oriunda do alimento
DIGM	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura microbiana
DIP	g/d	Digestibilidade intestinal da proteína
DIPA	g/d	Digestibilidade intestinal total da proteína de origem alimentar
DIPVM	g/d	Digestibilidade intestinal da proteína verdadeira de origem microbiana
DITC	g/d	Digestibilidade intestinal do total de carboidratos
DRA	g/d	Disponibilidade ruminal da fração A
DRA'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração A' fornecida pelo alimento
DRB1	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1
DRB1'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1' fornecida pelo alimento
DRB1 aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1 ajustada devido ao escape ruminal de peptídeos
DRB2	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2
DRB2'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2' fornecida pelo alimento
DRB2 aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2 ajustada devido ao escape ruminal de peptídeos
DRB2'aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2' ajustada devido à deficiência ruminal de Nitrogênio

Abreviatura	Unidade	Descrição
DRPEP	g/d	Disponibilidade ruminal de peptídeos fornecidos pelo alimento
DRPEPh	g/h	Taxa de disponibilização dos peptídeos no rúmen
EBACTrazão	adimensional	Proporção de bactérias produzidas a partir do iésimo alimento em relação ao total de bactérias produzidas
EPEPUP	g/d	Escape ruminal de peptídeos
ERA'	g/d	Escape ruminal da fração A' fornecida pelo alimento
ERANM	g/d	Escape ruminal de ácidos nucleicos microbianos
ERB1	g/d	Escape ruminal da fração B1 fornecida pelo alimento
ERB1'	g/d	Escape ruminal da fração B1' fornecida pelo alimento
ERB1aj	g/d	Escape ruminal da fração B1 ajustada devido ao escape de peptídeos do rúmen
ERB2	g/d	Escape ruminal da fração B2 fornecida pelo alimento
ERB2'	g/d	Escape ruminal da fração B2' fornecida pelo alimento
ERB2aj	g/d	Escape ruminal da fração B2 ajustada devido ao escape de peptídeos do rúmen
ERB2'aj	g/d	Escape ruminal da fração B2' ajustada devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
ERC	g/d	Escape ruminal da fração C fornecida pelo alimento
ERC'	g/d	Escape ruminal da fração C' fornecida pelo alimento
ERcinzasM	g/d	Escape ruminal de cinzas associadas à biomassa microbiana
ERCTM	g/d	Escape ruminal de carboidratos totais microbianos
ERGB	g/d	Escape ruminal de gordura
ERGM	g/d	Escape ruminal de gordura microbiana
ERPBM	g/d	Escape ruminal de proteína bruta microbiana
ERPPCM	g/d	Escape ruminal de proteínas ligadas à parede celular microbiana

Abreviatura	Unidade	Descrição
FE	g/d	Quantidade de fibra fisicamente efetiva fornecida pelo alimento
fef	adimensional	Fator de efetividade física da fibra contida no alimento, ($0 \leq fef \leq 1$)
Fibra	g/d	Quantidade de fibra fornecida pelo alimento
G	g/d	Quantidade de gordura fornecida pelo alimento
IMP	%	Acréscimo porcentual no rendimento devido à disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1'
ka	h^{-1}	Taxa de disponibilização das frações nitrogenadas para o ataque microbiano
ka'	h^{-1}	Taxa de disponibilização das frações fibrosas para o ataque microbiano
kd1	h^{-1}	Taxa de digestão da fração B1
kd1'	h^{-1}	Taxa de digestão da fração A
kd2	h^{-1}	Taxa de digestão da fração B2
kd2'	h^{-1}	Taxa de digestão da fração B1'
kd3'	h^{-1}	Taxa de digestão da fração B2'
k _e	h^{-1}	Taxa de escape ruminal das partículas fibrosas para o restante do TGI
k _l	h^{-1}	Taxa de diluição de líquidos no rúmen
kmg	adimensional	Eficiência total de utilização da energia metabolizável da ração pelo animal para efetuar os processos de manutenção e ganho em massa corporal
km1	adimensional	Taxa de manutenção das bactérias que utilizam os carboidratos fibrosos
km2	adimensional	Taxa de manutenção das bactérias que utilizam os carboidratos não fibrosos
kr	h^{-1}	Taxa de passagem das partículas fibrosas longas recém ingeridas para as porções ventrais do rúmen
kup	g peptídeo/ g células/ h	Taxa de utilização de peptídeos pelas bactérias que fermentam carboidratos não fibrosos

Abreviatura	Unidade	Descrição
M	kg	Massa corporal do animal
MSI	g/d	Quantidade de matéria seca indigerível
N BACTCF	g/d	Quantidade de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos fibrosos
N BACTNF	g/d	Quantidade de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos não fibrosos fornecidos pelo alimento
NAM BACTCF	g/d	Nitrogênio amoniacal retido pelos microrganismos que utilizam os carboidratos fibrosos
NAM BACTNF	g/d	Nitrogênio amoniacal retido pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos
NPEPUP	g/d	Nitrogênio contido nos peptídeos assimilados pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos
NPEPUPaj	g/d	Nitrogênio contido nos peptídeos retidos pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos ajustado para o escape ruminal de peptídeos
NperBACT	g/d	Crescimento microbiano permitido pela disponibilidade ruminal de nitrogênio
PA	g/d	Quantidade da fração A fornecida pelo alimento
PB	g/d	Quantidade de proteína bruta fornecida pelo Alimento
PB1	g/d	Quantidade da fração B1 fornecida pelo alimento
PB2	g/d	Quantidade da fração B2 fornecida pelo alimento
PC	g/d	Quantidade da fração C fornecida pelo alimento
PDR	g/d	Total de proteína verdadeira degradável no rúmen
PEPUP	g/d	Montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos

Abreviatura	Unidade	Descrição
PEPUPaj	g/d	Montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos ajustado devido ao escape de peptídeos do rúmen
PFB1'	g/d	Perdas fecais da fração B1'
PFB2	g/d	Perdas fecais da fração B2
PFB2'	g/d	Perdas fecais da fração B2'
PFBACT	g/d	Perdas fecais de massa microbiana
PFC	g/d	Perdas fecais da fração C
PFC'	g/d	Perdas fecais da fração C'
PFCinzas	g/d	Perdas fecais de cinzas oriundas do alimento
PFCinzasM	g/d	Perdas fecais de cinzas de origem microbiana
PFCM	g/d	Perdas fecais relativas ao total de carboidratos microbianos
PFCTA	g/d	Perdas fecais de carboidratos totais oriundos do alimento
PFECinzas	g/d	Perdas fecais endógenas de cinzas
PFEG	g/d	Perdas endógenas de gordura relativas ao consumo de alimento
PFEP	g/d	Perdas fecais endógenas de proteína relativas ao consumo de alimentos
PFGM	g/d	Perdas fecais de gordura microbiana
PFPA	g/d	Perdas fecais de proteína alimentar
PFPCM	g/d	Perdas fecais de parede celular microbiana
PFPM	g/d	Perdas fecais relativas ao total de proteína Microbiana
PM	g/d	Quantidade de proteína metabolizável disponível ao animal pelo fornecimento da ração
RATIO	adimensional	Disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1' de carboidratos
RNPEPUP	g/d	Retenção do nitrogênio pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos

Abreviatura	Unidade	Descrição
TMR	h	Tempo médio de retenção da fibra fornecida pelo alimento no rúmen
TNAD	g/d	Total de nutrientes aparentemente Digeríveis
TPFCinzas	g/d	Total de perdas fecais de cinzas oriundas do alimento
TPFCT	g/d	Total de perdas fecais em carboidratos oriundos do alimento
TPFG	g/d	Total de perdas fecais de gordura oriunda do alimento
TPFPROT	g/d	Total de perdas fecais em proteínas oriundas do alimento
U	adimensional	Efeito de repleção da fibra no rúmen
x	g/d	Quantidade do i-ésimo ingrediente da ração total otimizada
Y	g/d	Reciclagem endógena de nitrogênio Amoniacal
Y1	g células/g carboidrato fibroso digerido	Eficiência de crescimento de microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos (fração B2') fornecidos pelo alimento
Y2	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento dos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos (fração A') fornecidos pelo alimento
Y2'	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento microbiano corrigida em função de IMP
Y3	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento dos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos (fração B1') fornecidos pelo alimento
Y3'	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento microbiano corrigida em função de IMP
YG1	g células/g carboidratos fibrosos	Rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos fibrosos dos alimentos

Abreviatura	Unidade	Descrição
YG2	g células/g carboidratos não fibrosos	Rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos não fibrosos dos alimentos

RESUMO

SILVA, Simone Pedro da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Cinética de degradação das frações de proteína e carboidrato em forrageiras tropicais e simulação do desempenho de caprinos.** Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-orientadores: Ricardo Augusto Mendonça Vieira e José Carlos Pereira.

Objetivou-se com o presente estudo, determinar as frações proteicas e de carboidratos, medir os parâmetros cinéticos de degradação ruminal destas frações nas forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena, bem como, realizar simulações de consumo e desempenho de caprinos em crescimento consumindo exclusivamente tais forrageiras. Os teores de proteína bruta (PB), de nitrogênio não-protéico (NNP), de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram mensurados para decompor os compostos nitrogenados - em quatro frações, a saber, A, B₁, B₂ e C. Ao incubar as forrageiras em um sistema *in vitro* com proteases oriundas do *Streptomyces griseus* obteve-se os perfis de degradação das frações protéicas. Análises dos teores de açúcares, amido, fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) foram feitas para se determinar as frações A e B₁ dos carboidratos, e a interpretação cinética dos perfis de degradação *in vitro* da FDN foi utilizada para obtenção das frações B₂, C e taxa de degradação da fração B₂. Com a combinação das técnicas *in vitro* gravimétricas e de produção de gases obteve-se as taxas de degradação das frações A e B₁. Com relação aos valores das frações protéicas, o capim-tifton 85 possui maior proporção da fração B₂, enquanto a amoreira e leucena maiores proporções das frações A e B₁. A leucena apresentou as menores taxas de degradação das frações protéicas B₁ e B₂ (0,1005 e 0,0631 h⁻¹). As frações de carboidratos A, B₁, B₂, e C variaram entre 2,80 e 5,16; 17,87 e 66,19; 20,83 e 54,08; e 7,83 e 25,25 para as forrageiras estudadas, sendo que o capim-tifton 85 possui maior proporção da fração B₂, enquanto a amoreira e leucena da fração B₁. As taxas de degradação das frações de carboidratos A, B₁ e B₂ foram 0,78; 0,41 e 0,084 h⁻¹ no capim-tifton 85; 0,35; 0,07 e 0,274 h⁻¹ na amoreira e 0,1965 e 0,3846 h⁻¹ para as frações A+B₁ e B₂ na leucena, respectivamente. A proteína presente na amoreira apresenta maior disponibilidade que a proteína da leucena. As forrageiras estudadas apresentaram baixo teor de amido, o que não justifica a análise de tal componente, podendo este ser obtido por diferença entre CNF, FSDN e açúcares. As forrageiras não apresentam perfeita sincronização entre as frações de carboidratos e proteína com taxas de degradação semelhantes causando perdas de nitrogênio no rúmen. Simulações do desempenho e consumo em caprinos alimentados exclusivamente com as forrageiras em estudo foram feitas utilizando-se um

modelo nutricional semelhante ao “Cornell Net Carbohydrate and Protein System” (CNCPS), com modificações em relação à modelagem dos atributos cinéticos de digestão e passagem do alimento, para verificar os nutrientes que limitam o máximo desempenho. A categoria animal escolhida para realização das simulações foi a de cabritas leiteiras em crescimento, após o desmame, com massa corporal de 20 kg e potencial máximo para ganho diário de 150 g. A repleção ruminal limita a taxa de consumos de matéria seca em 0,87 kg/dia para o capim-tifton 85; 3,20 kg/dia para a amoreira e 2,15 kg/dia para a leucena. As estimativas de consumo de matéria seca para atender a demanda energética são de 0,875; 0,744 e 0,732 kg/dia para o capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente. Os valores de balanço de nitrogênio amoniacal no rúmen variam de 8,5 a 11,0. As produções de massa microbiana oriundas dos CT foram 104,97 g/dia para o capim-tifton 85; 81,51 g/dia para a amoreira e 118,29 g/dia para a leucena. O fator limitante do desempenho de caprinos que consomem capim-tifton 85 ou amoreira exclusivamente é a proteína metabolizável. O fornecimento de leucena, na forma exclusiva, supre a demanda em proteína metabolizável para promover máximo desempenho. A limitação de consumo das forrageiras estudadas é determinada pela demanda energética dos animais. O uso das forrageiras como única fonte de alimento para os caprinos limita o máximo desempenho na fase de crescimento

ABSTRACT

SILVA, Simone Pedro da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february, 2010. **Protein and carbohydrate fractions ruminal degradation kinetics in tropical forages and goats performance simulation.** Adviser: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-advisers: Ricardo Augusto Mendonça Vieira and José Carlos Pereira.

The objective of this work was to determine the protein and carbohydrate fractions, kinetic parameters of fractions ruminal degradation in tifton 85 grass, leucaena and mulberry, as well as created performance simulations of growing goats consuming only such fodder. For obtain of the nitrogen fraction (A, B1, B2 and C) were determined the crude protein (CP), non-protein nitrogen (NPN), neutral and acid detergent insoluble nitrogen. The in vitro degradation profiles of the protein fractions were obtained by incubating the samples with *Streptomyces griseus* protease. In order to determine the carbohydrate fractions (A and B1) analyzed the sugars, starch, soluble fiber (neutral detergent FSDN). To obtain the fractions B2, C and the degradation rate of fraction B2 was used in vitro degradation profiles of the NDF. The degradation rates of fractions A and B1 were obtained by combining the techniques in vitro gravimetric and gas production. About protein fractions, the tifton 85 grass has a larger proportion of fractions B2, while the mulberry and leucaena higher proportions of fractions A and B1. The Leucaena showed lower degradation rates of fractions B1 and B2 protein (0.1005 and 0.0631 h⁻¹). The carbohydrate fractions A, B1, B2, C ranged from 2.80 and 5.16, 17.87 and 66.19, 20.83 and 54.08, and 7.83 and 25.25 for the forages studied, and the tifton 85 grass has a larger proportion of fractions B2, while the mulberry and leucaena fraction B1. The degradation rates of carbohydrate fractions A, B1 and B2 were 0.78, 0.41 and 0.084 h⁻¹ in tifton 85 grass, 0.35, 0.07 and 0.274 h⁻¹ in mulberry respectively, where 0.1965 and 0.3846 h⁻¹ for fractions A + B1 and B2 in leucaena. The fractions representing about 80% protein tifton 85 grass had problems of its use by animals. Protein in the mulberry has a higher availability than the protein of leucaena. The forages studied were low in starch, which does not justify the analysis of such a component, which may be obtained by the difference between NFC, FSDN and sugars. The mulberry and leucaena are feedstuffs that can provide good synchronization between carbohydrates and protein degradation. Aiming to simulate the performance and consumption in goats fed exclusively with forage tifton 85 grass, mulberry and leucaena to verify the nutrients that limit maximum performance. To the perform simulations we used the nutritional model similar to the "Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) with modifications the kinetic modeling of the attributes of

digestion and passage of feedstuffs. The animal category chosen to simulations was the dairy goat in growth between weaning and mating (weight 20 kg and ADG 150 g). It was established that the animals are consuming forage alone. The dry matter intakes that caused maximum ruminoreticular capacity were 0.870 kg/day for tifton 85 grass; 3.200 kg/day for the mulberry tree and 2.150 kg /day for leucaena. The dry matter consumed by the animal that supplies the energy demand were 0.875, 0.744 and 0.732 kg/day for tifton 85 grass, mulberry and leucaena, respectively. The ammoniacal nitrogen balance in the rumen ranged from 8.5 and 11.0. The production of microbial mass arising from the carbohydrate total (TC) was 104.97 g/day for Tifton 85; 81.51 g/day for mulberry and 118.29 g/day for leucaena. The limiting factor in goats performance consuming tifton 85 grass or mulberry is the deficiency in metabolizable protein. The provision of only Leucaena supplies the demand in metabolizable protein to promote maximum performance. The forages do not have perfect synchronization between carbohydrates and protein, so that the rumen have excess nitrogen. Estimates of TDN nutritional model similar to CNCPS are different from the model proposed by Weiss.

Introdução geral

A nutrição e a alimentação de ruminantes são áreas do conhecimento que necessitam de diferentes informações científicas para o desenvolvimento de técnicas a fim de nutrir adequadamente os animais de interesse zootécnico. Nesse sentido, recorrer aos estudos de bromatologia zootécnica é de extrema importância para conhecer a quantidade de nutrientes que o alimento é capaz de oferecer para satisfazer às necessidades do animal.

Os sistemas de avaliação de alimentos para ruminantes estão em contínua construção ao longo dos anos, passando a se intercalar cada vez mais com outras ciências, como a física, matemática e estatística, o que torna esses sistemas mais complexos. Considerando a evolução do conhecimento sobre esses sistemas, atenção especial tem sido dada ao The Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS). Nesse sistema é possível realizar simulações da resposta animal sob várias condições de produção, detalhando-se com maior acuidade os alimentos, animais, manejo e as condições ambientais, de maneira a capacitar o zootecnista a identificar fontes que podem exercer maiores variações no desempenho animal.

De acordo com o sistema CNCPS, a proteína e os carboidratos utilizados na alimentação dos ruminantes são fracionados em relação à sua composição química, características físicas, degradação ruminal e digestibilidade intestinal. Com a estimativa dos parâmetros cinéticos dessas frações no trato gastrintestinal, é possível adequar o fornecimento de rações, visando à máxima eficiência de síntese de proteína microbiana. Ademais, pode-se reduzir perdas energéticas e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal pela melhor formulação de dietas visando maximizar a sincronização da degradação entre nitrogênio e carboidratos no rúmen.

Nos sistemas de produção de caprinos, a alimentação representa a maior parcela dos gastos, variando de 50 a 75% dos custos totais. A formulação de dietas balanceadas, com objetivo de atender exigências nutricionais dos animais com baixo custo, é de extrema importância para aqueles que lidam com a criação de ruminantes. De fato, o desempenho produtivo do animal está intrinsecamente relacionado à sua alimentação, e

o seu custo influencia no orçamento final, estando diretamente ligado ao lucro da empresa, com grande impacto sobre a rentabilidade da criação de ruminantes. Nesse contexto, o uso de bancos de proteínas, formados por leguminosas ou forrageiras arbustivas, constitui estratégia para garantir aporte nutricional adequado aos animais e reduzir os custos com alimentação.

Dentre as forrageiras que podem ser utilizadas em bancos de proteínas, destacam-se a leucena (*Leucaena leucocephala*) e a amoreira (*Morus alba L.*), por apresentarem boa aceitação pelos caprinos, excelente valor nutritivo, com maiores teores de proteína e menores valores de componentes fibrosos, bem como menor variação em sua composição química e digestibilidade com o avanço do estágio de desenvolvimento (Gomide & Queiroz, 1993).

Por outro lado, gramíneas do gênero *Cynodon*, como o capim-tifton-85, têm sido muito indicadas para estabelecimento de pastagens para caprinos por apresentarem características desejáveis, tais como elevado potencial de produção, teores de lignina relativamente baixos, alta relação folha/colmo e elevada densidade de forragem, o que facilita sua apreensão pelo animal e resulta em aumento na ingestão de energia digestível. De fato, a boa qualidade dessa gramínea pode ser evidenciada pelos bons ganhos de peso dos animais sob pastejo (Pedreira, 2000).

Diante das dificuldades em quantificar diretamente o desempenho de caprinos consumindo diferentes volumosos e pela necessidade do produtor ser capaz de tomar decisões rápidas e corretas, o uso de modelos matemáticos e simulações de diferentes sistemas de produção surge como ferramenta importante que auxilia na tomada de decisões. No Brasil, os modelos de simulação, apesar de serem ferramentas poderosas e de baixo custo, comparativamente à experimentação física, têm sido pouco utilizados (Barbosa & Assis, 1999).

Nesse sentido, objetivou-se com esse estudo determinar as frações dos compostos nitrogenados e carboidratos, medir as taxas de degradação dessas frações nas forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena, bem como, realizar simulações de consumo e desempenho de caprinos em crescimento consumindo esses alimentos, através do modelo nutricional semelhante ao CNCPS.

2.1. O Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

O sistema Weende para análise proximal é utilizado para medir componentes como fibra bruta, extrato etéreo, matéria seca e nitrogênio total, sendo o extrato não-nitrogenado (ENN) calculado por diferença. Entretanto, este sistema não pode ser usado para prever de forma mecanicista o crescimento microbiano, porque a fibra bruta não representa toda a fibra dietética, o extrato não nitrogenado (ENN) não representa acuradamente os carboidratos não-fibrosos e a proteína precisa ser descrita por frações relacionadas com as suas características de degradação ruminal. (Fox, 2003). Este sistema foi amplamente utilizado, por mais de um século, na quantificação da proteína e energia sem levar em consideração as diferentes frações disponíveis nos alimentos.

O The Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) foi criado na Universidade de Cornell, nos EUA, por uma equipe liderada por pesquisadores do departamento de Zootecnia daquela instituição. Nesse sistema é possível simular os efeitos de ingestão do alimento, fermentação ruminal, digestão intestinal, absorção e metabolismo sobre a utilização do nutriente, e subsequente o desempenho animal. Trata-se de um modelo com base mecanicista, ou seja, baseado em teorias ou princípios biológicos, químicos e físicos conhecidos, com o objetivo de melhorar os modelos de predição da resposta animal, bem como otimizar o uso de recursos disponíveis nas propriedades e reduzir o impacto ao meio ambiente, tais como excesso de nutrientes no solo e sobre a qualidade da água. Difere de modelos empíricos, que são baseados em relacionamentos derivados diretamente de observações sobre o sistema, neste caso o organismo dos animais.

Desde 1980, submodelos separados, que podem ser classificados pela função fisiológica tem sido desenvolvidos e refinados no CNCPS: (1) Consumo e composição dos alimentos, (2) fermentação ruminal, (3) digestão intestinal, (4) metabolismo, (5) manutenção, (6) crescimento, (7) gestação, (8) lactação, (9) reservas e (10) excreção de nutrientes. Informações novas têm sido periodicamente incorporadas a estes modelos.

O CNCPS assume que os alimentos são compostos por proteína, carboidratos, gorduras, minerais, vitaminas e água. Carboidratos e proteínas são subdivididos pela composição química, características físicas, por suas taxas de degradação e características de digestibilidade pós-ruminal, de modo a poder prever valores de energia líquida e de proteína metabolizável para cada alimento, com base nas interações

entre essas variáveis.

As frações de carboidratos e proteínas bem como suas taxas de degradação são utilizadas para computar a quantidade de nutrientes disponíveis para dar suporte à fermentação ruminal para cada um dos grupos de microrganismos, conforme descrito por Russel et al. (1992).

2.2. Proteína

A proteína contida nos alimentos dos ruminantes é composta por uma fração degradável no rúmen (PDR) e uma fração que escapa da degradação ruminal (PNDR). A degradação de proteínas no rúmen ocorre por meio da ação de enzimas secretadas pelos microrganismos ruminais (Ørskov & McDonald, 1979).

As exigências em proteína metabolizável dos ruminantes são atendidas pela proteína microbiana sintetizada no rúmen e pela proteína dietética que escapa à fermentação ruminal, o que torna a nutrição protéica dos ruminantes bastante complexa.

As gramíneas de clima tropical possuem teores de proteína bruta (PB) inferiores ao das espécies de clima temperado. Grande parte dessas gramíneas apresenta teores de PB inferiores a 100 g/kg de MS, que pode ser insatisfatório para o atendimento de exigências para alguns níveis de crescimento e produção de leite. Esse baixo teor de PB é devido à presença da via fotossintética C_4 . As plantas C_4 têm maior eficiência na retirada de CO_2 do meio, e com isso possuem menores proporções da enzima Rubisco que as C_3 , apresentando assim menores concentrações de nitrogênio em seus tecidos fotossinteticamente ativos. Além disso, apresentam uma maior densidade de feixes vasculares em relação às C_3 . Esses feixes vasculares são circundados por células da bainha parenquimática, ou seja, apresentam uma maior proporção de carboidratos fibrosos.

As leguminosas com anatomia foliar típica de espécies C_3 apresentam teores protéicos mais elevados (166 g/kg de MS) e suas folhas possuem os feixes vasculares circundados por uma bainha de parede espessa na face interna e uma bainha de parede mais delgada externamente. Seus feixes vasculares são separados por um mesofilo com células esparsamente arranjadas. Nas gramíneas C_4 , existe uma bainha de células grandes e com parede celular até cinco vezes mais espessa do que as células do mesofilo, em torno do feixe vascular.

O teor de proteína nas espécies forrageiras é maior nos estádios vegetativos iniciais da planta e diminuem à medida que as mesmas atingem a maturidade. Os maiores teores de proteína ocorrem nas folhas, que possuem alto valor biológico, com

composição aminoacídica de alta qualidade.

O modelo denominado CNCPS apresenta um procedimento mais complexo para determinar a PDR e PNDR dos alimentos. Esse modelo utiliza reagentes químicos para determinar as frações protéicas que são divididas em cinco: A, B₁, B₂, B₃ e C. A fração A representa os componentes nitrogenados de natureza não protéica (NNP) que é instantaneamente solubilizada e sua taxa de degradação tende ao infinito, sua determinação química é realizada como a proporção da proteína solúvel em solução de tampão borato-fosfato que não precipita em ácido tricloroacético (TCA). A fração C representa a proteína que está ligada a FDA e não é degradada no rúmen, contém proteínas associadas à lignina, taninos e produtos da reação de Maillard, sendo conhecida como proteína insolúvel em detergente ácido, ou PIDA. A fração B representa a fração potencialmente degradável e é dividida em três frações de acordo com suas taxas de degradação, sujeitas aos efeitos de passagem. A fração B₁ representa a fração da proteína solúvel em tampão borato-fosfato, mas que precipita em TCA (rapidamente degradada no rúmen). A fração B₃ é calculada como a diferença entre a fração da proteína recuperada no resíduo insolúvel em detergente neutro (FDN) e a recuperada no resíduo insolúvel em detergente ácido (FDA). Essa fração representa a proteína potencialmente degradável existente na parede celular das plantas, sendo lentamente degradada no rúmen. A fração B₂ representa a fração de proteína insolúvel em tampão-borato presente no conteúdo celular, sendo obtida pela diferença entre o valor total da proteína do alimento e a soma das frações A, B₁, B₃ e C e apresenta taxa de degradação intermediária (Licitra et al., 1996).

Porém, em alguns trabalhos, tem-se utilizado somente quatro frações protéicas (A, B₁, B₂ e C) em vez de cinco (A, B₁, B₂, B₃ e C), devido às frações B₁ e B₂ encontrarem-se no conteúdo celular e se comportarem de forma nutricionalmente uniforme. (Van Soest, 1994; Broderick, 1995; Favoreto et al., 2008). Além disso, as técnicas laboratoriais utilizadas nesse fracionamento são mais simples, tornado tais procedimentos mais acessíveis às análises de rotinas nos laboratórios.

Malafaia et al.(1997) encontraram para o capim tifton-85 com 60 dias de rebrotação os teores das frações protéicas A, B₁, B₂, B₃ e C de 17,38 e 2,54; 36,18; 26,95 e 16,95% respectivamente. Cabral et al. (1999a) verificaram com a mesma gramínea, colhida com 30 cm (14,7% PB) e 50 cm (9,9% PB) as proporções das frações protéicas A, B₁, B₂, B₃ e C de 12,4 e 26,8; 9,2 e 4,0; e 29,4 e 23,5; 40,8 e 34,2; e 8,3 e 11,4% da PB, respectivamente.

Ribeiro et al. (2001) avaliaram fenos de capim-tifton 85 sob idades de rebrotação

(28, 35, 42 e 56 dias) e verificaram que os valores das frações protéicas A, B₁, B₂, B₃ e C, expressos como percentagem da PB, variaram entre 22,10 a 35,53%; 0,24 a 4,55%; 30,37 a 31,34%; 26,55 a 36,62%; e 5,75 a 6,76%, respectivamente, nos fenos com idades de 28 a 56 dias. Neste trabalho, a proporção de proteína com taxa de degradação intermediária (B₂) foi semelhante entre as idades, enquanto que a fração B₃ foi similar entre os fenos mais jovens. Os autores sugeriram que, quanto maior os valores das frações A e B₁, maior é a necessidade de suprimento de carboidratos de rápida degradação para adequado sincronismo de fermentação de proteína e carboidratos no rúmen.

Felisberto (2007) fracionou a proteína do feno de capim-tifton 85 colhido com 30 dias, 15,7% PB e 76,94% FDN, e verificou que as frações A, B₁, B₂, B₃ e C, foram, respectivamente, 20,57; 2,94; 34,71; 35,99 e 5,78% PB. Em trabalhos com a mesma planta forrageira avaliadas nas idades de 28, 42, 63 e 84 dias, Gonçalves et al. (2003) encontraram os valores de 23; 4,4; 31,3; 25 e 17,4% das respectivas frações A, B₁, B₂, B₃ e C para a idade de 28 dias, bem como 19,8; 0,4; 31,4; 26,2 e 22,8% em plantas com 84 dias. Estes autores observaram redução na qualidade do feno com o aumento da idade, na medida em que as frações A+B₁ decresceram linearmente e a fração C aumentou.

Os teores de nitrogênio ligados aos compostos da parede celular tendem a aumentar com a idade fisiológica da planta, principalmente, aquela fração ligada a FDA. Lima et al. (1999) encontraram redução linear na fração da proteína de lenta degradação (fração B₃) e aumento da fração C com a maturidade de plantas de tifton- 85 (*Cynodon dactylon*), bahia (*Paspalum notatum*) e floralta (*Hemarthria altissima*) (Balsalobre, 2002).

2.3. Carboidratos

Os carboidratos são os principais constituintes das plantas forrageiras, correspondendo de 50 a 80% da MS das forrageiras e cereais. As características nutritivas dos carboidratos das forrageiras dependem dos açúcares que os compõem, das ligações entre eles estabelecidas e de outros fatores de natureza físico-química (Van Soest, 1994). A fermentação de carboidratos no rúmen leva à produção de ácidos graxos voláteis, que são as principais fontes de energia para os ruminantes. A composição química, características físicas e cinéticas de digestão são características dos carboidratos que influenciam o consumo de matéria seca, digestão e utilização da ração total (Mertens, 1992)

Os carboidratos são classificados em estruturais, presentes na parede celular, e não estruturais presentes no conteúdo celular (Sniffen et al., 1992). Porém, a pectina trata-se de um carboidrato estrutural presente na parede celular, mas que possui taxa de degradação similar ao dos constituintes do conteúdo celular. Dessa forma, a classificação proposta por Sniffen et al. (1992) refere-se às características estruturais que os carboidratos apresentam na planta e não às características nutricionais.

Em termos nutricionais, a classificação dos carboidratos em fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF) tem por base as características nutritivas e não a função estrutural exercida na planta. Nessa classificação, os CNF representam as frações degradadas mais rapidamente e incluem os açúcares, amido e a pectina. Os carboidratos fibrosos (CF) estão presentes na parede celular e incluem a celulose e a hemicelulose, os quais são lentamente degradados e ocupam espaço no trato gastrintestinal (TGI).

Associados à parede celular podem ser encontrados componentes químicos de natureza diversa, como a lignina. Esta tem a natureza de um polímero fenólico que se associa aos carboidratos fibrosos, celulose e hemicelulose, durante o processo de formação da parede celular e está correlacionada à indigestibilidade dos nutrientes.

A planta forrageira de clima tropical, em relação àquela de clima temperado, é caracterizada por baixos teores de carboidratos não fibrosos e pela elevada proporção de carboidratos fibrosos. Esta característica é de natureza anatômica e ocorre devido à alta proporção de tecidos vasculares, comuns nas plantas C₄ (Van Soest, 1994).

Os níveis de carboidratos fibrosos são bem mais elevados em gramíneas que em leguminosas, e nos caules em relação às folhas. Com o avançar da maturidade, verificam-se aumentos nos teores de carboidratos fibrosos e redução nos carboidratos não fibrosos. Isso influencia a digestibilidade da forragem, que declina mais drasticamente para as gramíneas que para as leguminosas.

Segundo o sistema CNCPS os carboidratos totais são classificados em quatro frações, de acordo com suas taxas de degradação no rúmen:

Fração A - açúcares solúveis prontamente degradados e que apresentam taxa de digestão de 250 a 500%/h;

Fração B₁ - compreende os carboidratos não-fibrosos (amido e pectina) com fermentação intermediária de 30 a 70%/h;

Fração B₂ - compreende os carboidratos fibrosos, celulose e hemicelulose, com lenta taxa de degradação (3 a 20%/h);

Fração C - parte indegradável dos componentes fibrosos presentes na parede celular, composta principalmente pela lignina (NRC, 1996).

O modelo CNCPS considera como carboidratos fibrosos as frações B₂ e C, que representam, respectivamente, a fibra potencialmente digestível e a indisponível, ambas presentes na parede celular. Os carboidratos não-fibrosos são representados pelas frações A e B₁, que correspondem aos açúcares, amido e pectina. Esta última, apesar de estar presente na parede celular das plantas, apresenta degradação ruminal próxima aos constituintes do conteúdo celular.

Segundo o sistema CNCPS, os carboidratos não-fibrosos (açúcares, amido e pectinas) são computados como $100 - (PB + FDN_{cp} + EE + MN)$, em que PB, FDN_{cp}, EE e MN correspondem, respectivamente, à proteína bruta, fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína, extrato etéreo e minerais. Para análise de açúcares (fração A), utiliza-se tanto a reação fenol/ácido sulfúrico ou a reação de antrona. O método para determinação do amido consiste no AOAC 996.11. Pectinas e outros carboidratos solúveis são determinados indiretamente, pela diferença entre a fibra dietética total (FDT) e a fibra em detergente neutro, corrigindo ambas para cinzas e nitrogênio. A fração B₁ é obtida pela soma do amido e pectinas. A fração C é estimada pela multiplicação da concentração de lignina pelo fator 2,4. O ensaio recomendado para lignina é a hidrólise dos resíduos do procedimento de fibra em detergente ácido, em ácido sulfúrico 72% (Van Soest et al., 1991). A fibra disponível (fração B₂) é obtida como FDN_p – Fração C. O CNCPS não disponibiliza procedimentos laboratoriais de como obter taxas de degradações dos carboidratos.

Alguns trabalhos foram conduzidos no Brasil para avaliar as frações de carboidratos em forrageiras tropicais. Nesse sentido, Cabral et al., (1999b) avaliaram o capim tifton-85 sob duas alturas de corte (30 e 50 cm) e verificaram que, para a altura de 30 cm, os valores das frações A + B₁, B₂ e C foram, respectivamente, 14,67; 68,72 e 16,60%; já para a altura de 50 cm, os valores corresponderam à 11,87; 68,76 e 19,37%, respectivamente. Com o acréscimo da altura da planta, ocorreu aumento da fração C em 17%, redução dos carboidratos não fibrosos em 19%, e pouca variação nos teores da fração B₂. O aumento da fração C pode ser em parte, atribuída ao aumento da concentração de lignina na FDN em 23%. Neste trabalho, foi observado que, a grande totalidade dos carboidratos correspondeu à fração B₂. Realmente, alimentos volumosos com altos teores de FDN possuem maior proporção da fração B₂, ou seja, fibra potencialmente digestível. Dessa forma, dietas à base desses volumosos suportam melhor o crescimento de microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos. Portanto, a utilização de nitrogênio não-protéico (NNP) ou de fontes protéicas de lenta degradação no rúmen é desejável (Cabral, 1999b), haja vista que os microrganismos que degradam

a fibra utilizam, como única fonte de nitrogênio, a amônia, oriunda da degradação de fontes de NNP. Além disso, como a fibra é lentamente degradável, o uso de fontes protéicas de baixa degradação no rúmen é apropriado, pois permite melhor sincronismo de degradação entre carboidratos e proteínas.

Em outro experimento, o capim-tifton 85 foi avaliado aos 60 dias por Malafaia et al., (1997), que encontraram valores de 5,45; 74,38 e 20,17%, respectivamente, para as frações A + B₁, B₂ e C. O incremento da fração C e a redução das frações A + B₁ implica em redução na disponibilidade de energia para os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos e não-fibrosos, o que poderia influir na eficiência de síntese de proteína microbiana e, ainda, conduzir à perdas de N no rúmen, se porventura forem utilizados suplementos protéicos de média ou rápida degradação.

Nos trabalhos anteriormente citados, o fracionamento dos carboidratos foi realizado da seguinte maneira: carboidratos totais foram calculados pela fórmula $CHOT = 100 - (\%PB + \%EE + \%Cinzas)$; fração C foi obtida a partir do resíduo indigerível após 72 horas de incubação com líquido de rúmen (Mertens, 1987) ou pela multiplicação do resíduo de lignina pela constante 2,4; fração B₂ foi determinada a partir da subtração da FDNp pela fração C; e os carboidratos não-fibrosos (CNF) foram quantificados pela fórmula: $CNF = 100 - (\%PB + \%FDNcp + \%EE + \%Cinzas)$ de acordo com Sniffen et al. (1992). Dessa forma, observa-se que não foi realizado o fracionamento dos CNF em açúcares, amido e pectina, o que possivelmente se deve à dificuldade em analisar esses constituintes isoladamente no laboratório, de maneira a facilitar a formulação das dietas para ruminantes.

Ribeiro et al. (2001), avaliaram fenos de capim-tifton 85 colhidos em várias idades e encontraram valores das frações de carboidratos A, B₁, B₂ e C de 5,44; 2,35; 78,62 e 13,59%, respectivamente, para o feno com 28 dias. Essas mesmas frações foram, respectivamente, de 3,51; 2,03; 80,59 e 13,87% para o feno com 35 dias; 3,17; 2,09; 79,12 e 15,62% para o feno com 42 dias, e 2,73; 1,91; 77,49; 17,87% para o feno com 56 dias.

As frações A e B₁ dos carboidratos obtidas no trabalho anterior foram calculadas segundo equações propostas por Sniffen et al. (1992):

Fração B₁(%CHOS) = $\text{Amido } (\%CNE) * (100 - B_2 (\%CHOS) - C(\%CHOS)) / 100$;
Fração A (%CHOS) = $(100 - \text{Amido } (\%CNE)) * (100 - B_2 (\%CHOS) - C(\%CHOS)) / 100$, em que %CNF = valor na base da MS. Os teores de açúcares totais e de amido foram determinados por reação com antrona, conforme metodologia descritas, respectivamente, por Hodge & Hofreiter (1962) e por McCready et al. (1950),

modificado por Patel (1970). Apesar de terem sido realizadas as separações das frações A e B₁, verifica-se que a fração B₁ é constituída apenas de amido e não de pectina, como descrito no sistema CNCPS. Além disso, a obtenção das estimativas das taxas de degradação dessas frações foi realizada para as duas frações em conjunto (A+B₁). Possivelmente, tais procedimentos foram adotados pela dificuldade em separar as degradações dessas frações através de modelos matemáticos.

Dessa forma, o que se observa é que, apesar de, em vários trabalhos, os autores terem realizado o fracionamento de carboidratos, poucos realmente utilizaram os procedimentos recomendados pelo CNCPS para a separação das frações. Isso, possivelmente, é devido às dificuldades de execução das análises laboratoriais propostas pelo sistema CNCPS.

2.4. Degradação ruminal das frações dos carboidratos e compostos nitrogenados

O CNCPS por meio de trabalhos realizados por Sniffen et al. (1992) e Russell et al. (1992), enfatiza a necessidade da sincronização na degradação de compostos nitrogenados e carboidratos no rúmen, para que se obtenha a máxima eficiência de síntese de proteína microbiana, bem como redução nas perdas energéticas e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal. Através de modelos mecanicistas é possível estimar a quantidade de proteína microbiana sintetizada, escape ruminal de nutrientes e proteína metabolizável, a partir dos dados relativos às frações de carboidratos e proteínas e suas respectivas taxas de degradação ruminal.

O conhecimento da cinética da degradação ruminal da proteína dos alimentos é fundamental para formular dietas com quantidades adequadas de proteína degradável no rúmen, a fim de suprir as necessidades dos microrganismos ruminais e adequadas quantidades de proteína não degradável no rúmen.

As frações de carboidratos bem como suas taxas de degradação são utilizadas para computar a quantidade de nutrientes disponíveis para dar suporte à fermentação ruminal para cada grupo de microrganismo. Segundo Nocek & Russell (1988), a taxa de digestão do alimento no rúmen e, particularmente, o sincronismo entre a taxa de digestão das proteínas e dos carboidratos podem ter importante efeito sobre os produtos finais da fermentação e, conseqüentemente, sobre a produção animal.

Alimentos com altas proporções das frações protéicas A e B₁, e com as respectivas taxas de digestão elevadas, podem ocasionar grandes perdas de amônia, quando não suplementados com fontes de carboidratos de rápida degradação ruminal. Nesse sentido, para que ocorra eficiente síntese microbiana no rúmen, torna-se

necessário bom sincronismo na fermentação de proteínas e carboidratos, com o objetivo de se obter melhorias no desempenho animal (Nocek & Russell, 1988).

As estimativas das taxas de digestão das frações nitrogenadas têm sido obtidas por intermédio de diferentes métodos, sendo o método *in vitro* com proteases oriundas de *Streptomyces griseus* o mais utilizado (Krishnamoorthy et al., 1983). A ação dessas proteases apresenta atividade máxima em pH 8, daí decorrem as críticas ao uso dessas enzimas para obtenção das taxas de degradação (Broderick, 1995). Entretanto, Cone et al. (1996) compararam o escape de proteína predito pelo método *in vitro*, usando proteases originárias do *S. griseus*, com o escape de proteína predito a partir do método *in situ*, e concluíram que o uso das proteases permitia obter, de forma rápida, o porcentual de escape da proteína dietética. Dessa forma, a obtenção de estimativas das taxas de degradação das frações protéicas utilizando proteases oriundas de *Streptomyces griseus* (Krishnamoorthy et al., 1983), são validas e recomendadas pelo sistema CNCPS. Além disso, sua utilização é menos laboriosa quando comparada ao isolamento das proteases do rúmen.

A utilização de enzimas proteolíticas isoladas do rúmen (Kohn & Allen, 1995; Malafaia & Vieira, 1997; Malafaia et al., 1997) trata-se de uma alternativa ao uso de protease comercial devido ao alto custo elevado desta última.. Contudo, as predições com base neste método devem ser verificadas por meio da comparação com os valores obtidos *in vivo* (Vieira et al., 2000a).

As técnicas de avaliação dos parâmetros cinéticos da degradação ruminal dos alimentos compreendem estudos sobre o desaparecimento da massa de amostra incubada ao longo do tempo de incubação, denominada técnica gravimétrica, ou a quantificação da produção cumulativa de gases CO₂ e CH₄, oriunda da atividade microbiana ruminal a partir da fermentação de uma amostra em líquido ruminal tamponado, durante o período de incubação, conhecida como técnica metabólica (Menke et al., 1979; Pell & Schofield, 1993; Theodorou et al., 1994).

Determinadas frações dos alimentos apresentam um período de latência em que não se verifica a degradação do substrato. Durante esse período, podem ocorrer hidratação das partículas do alimento, remoção de substâncias inibidoras, eventos ligados à adesão e efetiva colonização das partículas do alimento pelos microrganismos ruminais, de modo que, antes do término desta fase, o alimento permanece inalterado no rúmen, a não ser por ação mecânica. Os processos envolvidos durante o período de latência inicial são dependentes do tempo, pois são realizados gradualmente ao longo do tempo. Essa dependência do tempo, possivelmente explica a curvatura inicial presente

em gráficos de degradação *in vitro* ou *in situ*. (Vieira et al., 2008a). Desse modo, é justificável a utilização de modelos que determinam a contribuição do período de latência como tempo-dependente sobre a cinética de degradação ruminal (Mertens, 1977; McDonald, 1981; Pereira, 1992; Vieira et al., 2008a).

Malafaia et al. (1997) avaliaram a cinética ruminal das frações protéicas de algumas gramíneas tropicais, como o capim tifton-85, capim-elefante, *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, e encontraram para a fração B₁ da proteína taxas de degradações de 1,913; 0,697; 1,322 e 0,783 h⁻¹, respectivamente. Para essas mesmas plantas as frações B₂ e B₃ foram de 0,013 e 0,001; 0,017 e 0,0006; 0,011 e 0,002; 0,011 e 0,009 h⁻¹, respectivamente. As taxas de degradações das frações protéicas foram realizadas utilizando proteases extraídas do líquido ruminal, segundo técnica proposta por Kohn & Allen (1995).

Cabral et al. (1999a) ao medirem as taxas de digestão das frações nitrogenadas em proteases extraídas do rúmen, obtiveram para o capim-tifton 85 com 30 e 50 cm de altura, taxas de degradação de 0,615 e 1,220 h⁻¹ para a fração B₁. Para as frações B₂ e B₃ foram encontrados valores de 0,016; 0,033 e 0,049; 0,087 h⁻¹ respectivamente. As taxas de degradações dos carboidratos encontradas na fração solúvel em detergente neutro e B₂ foram de 0,222; 0,039 e 0,227; 0,049 h⁻¹, para as plantas colhidas com 30 e 50 cm de altura, respectivamente.

Ribeiro et al. (2001), ao avaliarem o feno de capim-tifton 85, encontraram valores para as taxas de degradação das frações protéicas entre 0,319 e 1,324; 0,072 e 0,094; e 0,008 e 0,012 h⁻¹, respectivamente, para as frações protéicas B₁, B₂ e B₃, nos fenos entre 28 e 56 dias de idade. As taxas de digestão das frações A+B₁ de carboidratos, pouco variaram entre os fenos de diferentes idades, apresentando valores entre 0,181 e 0,200 h⁻¹. Para a fração B₂ dos carboidratos a variação da taxa de degradação foi de 4,00 a 4,66 %/h, sendo os menores valores para plantas de maior idade fisiológica. Segundo esses autores alimentos com altas proporções das frações protéicas A e B₁, com as respectivas taxas de digestão elevadas, podem ocasionar maiores perdas de amônia, quando não suplementados com fontes de carboidratos de rápida degradação ruminal. Necessita-se, assim, de bom sincronismo na fermentação de proteínas e carboidratos, para eficiente síntese microbiana no rúmen e conseqüente melhoria no desempenho animal.

Vieira et al. (2000b) avaliaram as taxas de degradações das frações de carboidratos nas amostras de extrusa em pastagens nativas coletadas em duas épocas do ano (período das águas e período da seca). Verificaram redução significativa da taxa de degradação da fração potencialmente degradável dos carboidratos fibrosos. Na estação

do período das águas, a fração B₂ foi degradada mais rapidamente pelos microrganismos (0,090 h⁻¹); logo, conclui-se que a taxa de degradação diminuiu no material consumido pelos animais durante a estação seca (0,062 h⁻¹).

2.5.Fermentação ruminal e crescimento microbiano

O submodelo do rúmen, que prediz a fermentação e a digestão dos alimentos, é de grande importância ao CNCPS. A quantidade e a qualidade dos produtos da fermentação são dependentes dos tipos e atividades dos microrganismos, sendo o ecossistema ruminal bastante diverso (Sniffen et al., 1992).

A fermentação ruminal, por apresentar inúmeras inter-relações entre os diversos microrganismos, tem confundido as previsões do desempenho animal a partir dos ingredientes dietéticos. Dessa forma, muitos pesquisadores da área pressupõem que o ecossistema ruminal é tão complexo que não pode ser entendido ou descrito em termos quantitativos (Russell et al., 1992).

O CNCPS, descrito por Russell et al. (1992) e Sniffen et al. (1992) propõe a divisão do ecossistema ruminal em dois grupos microbianos. Os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos (CF) e microrganismos que fermentam carboidratos não-fibrosos (CNF). Geralmente, os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos (celulose e hemicelulose) crescem mais lentamente, e utilizam amônia como preferencial fonte de nitrogênio para síntese de proteína microbiana. Em contraste, os microrganismos que fermentam carboidratos não-fibrosos (amido, pectina e açúcares) crescem mais rapidamente e podem utilizar amônia e aminoácidos como fontes de nitrogênio. Os microrganismos fermentadores de CF e CNF têm diferentes requerimentos de manutenção, o CNCPS estima 0,05 e 0,15 g de carboidratos por g de microrganismo por hora, respectivamente, e a eficiência de crescimento das bactérias que digerem CNF é otimizada na presença de 14% de peptídeos como porcentagem de CNF. Assim, o requerimento de proteína degradável é para suportar a ótima utilização de CNF e CF para atender aos respectivos requerimentos de crescimento microbiano (Fox, 2003).

A taxa de crescimento microbiano de cada categoria é diretamente proporcional à taxa de digestão de carboidratos, desde que uma adequada fonte de nitrogênio esteja disponível. Uma deficiência de nitrogênio no rúmen reduz o crescimento microbiano e a digestão da fibra. Baseado no modelo publicado por Tedeschi et al. (2000) e Fox et al. (2004) o submodelo do rúmen do CNCPS é sensível aos efeitos de uma deficiência de nitrogênio ruminal sobre as taxas de digestão da forragem. Com uso desse modelo, é

possível quantificar redução na quantidade de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos e dessa forma contabilizar a queda na fermentação dos carboidratos fibrosos, ocasionados por deficiência de nitrogênio no rúmen.

2.7. Tifton-85 na alimentação de caprinos

O capim tifton-85 (*Cynodon spp.*), que teve sua origem na *Coastal Plain Experiment Station* (USDA-University of Geórgia), no sul do Estado da Geórgia (Burton et al., 1993), apresenta características como porte mais elevado, colmos mais compridos, folhas mais extensas e de coloração verde escura, hábito de crescimento prostrado, boa cobertura do solo devido aos estolões que se expandem rapidamente, possuindo rizomas grandes e em menor número.

As gramíneas desse gênero são capazes de produzir elevadas quantidades de forragem de boa qualidade e resistir aos fatores adversos do clima, sendo encontradas em diversas regiões de vários continentes. Vilela & Alvim (1998) avaliaram durante um ano a produção e qualidade do capim-tifton 68 e capim-tifton 85 em regimes de corte, em que os cultivares foram submetidas a doses crescentes de nitrogênio e demonstraram que as produções de MS dos dois tiftons são semelhantes, porém, o capim-tifton 85 apresenta uma relação folha:colmo mais elevada, sendo portanto de qualidade superior ao capim-tifton 68. Além disso, o capim-tifton 85 apresenta boa adaptação a solos arenosos, mistos e argilosos (não alagados), mas exige alta fertilidade. Não tolera solos encharcados, sombreamento, ataque de cigarrinhas das pastagens e lagartas. Pode ser fornecido como pasto, capineira, feno, silagem normal ou pré-seca, sendo fornecido para diferentes espécies animais, incluindo os caprinos.

O capim-tifton 85 é muito indicado em pastagens para caprinos por apresentar boas características nutricionais e produtivas. As plantas forrageiras com alta relação folha/colmo e alta densidade de massa seca (MS) facilitam a apreensão da forragem pelo animal em pastejo, refletindo em aumento de ingestão de energia digestível (Mott, 1981).

Gramíneas forrageiras com hábito de crescimento prostrado têm sido recomendadas para a criação de caprinos (Araújo Filho et al., 1999). Os capins prostrados apresentam-se como alternativa interessante, tanto do ponto de vista nutricional, quanto da facilidade de manejo da pastagem. Por outro lado, o alto percentual de cobertura de solo pode contribuir com a formação de microclima úmido, com temperaturas amenas, favorecendo o desenvolvimento das larvas infectantes de nematódeos gastrintestinais, que provocam sérios prejuízos econômicos (Santos et al.,

2002).

2.7.1. Manejo do pastejo do capim-tifton-85 (*Cynodon* ssp.) baseado na interceptação luminosa

Em anos recentes, uma série de trabalhos adotando um novo enfoque, não apenas baseado na combinação entre produção e qualidade do material produzido, mas sim em princípios de ecofisiologia foram conduzidos no Brasil na tentativa de otimizar o manejo do pastejo das gramíneas do gênero *Cynodon*. Esses trabalhos têm se baseado na premissa de que é fundamental conhecer os constituintes individuais das pastagens nos seus mais diversos aspectos, seu arranjo espacial (estrutura), assim como a dinâmica das suas interações dentro da comunidade de plantas, para, com base neles, fazer recomendações de manejo (Da Silva & Pedreira, 1997), já que o acúmulo de matéria seca é apenas um dos processos dentro do sistema de produção em pastagens, e pouco representa como guia de manejo para otimização do uso da pastagem (Pedreira et al., 2006)

A quantidade de carbono fixado por uma pastagem por unidade de tempo depende diretamente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas verdes (RFA1). Essa quantidade é determinada pela radiação incidente (RFA0) e pela eficiência de absorção do relvado (E_r), sendo que esta última é determinada por variáveis do pasto como área de folhas disponível para interceptar a luz por unidade de área de solo (IAF), ângulo foliar e propriedades de transmissão de luz das lâminas foliares, e por características de radiação solar como a relação entre luz difusa/direta e ângulo de radiação incidente (Lemaire & Chapman, 1996)

Normalmente, quanto maior o IAF, maior será a capacidade de interceptar a luz (Hodgson, 1990), porém existe um IAF denominado ótimo, em que praticamente toda luz é interceptada com um mínimo de auto-sombreamento, proporcionando a máxima taxa de crescimento da cultura (TCC). O valor de IAF que proporciona 95% é definido como IAF crítico. Abaixo do IAF ótimo, a redução da TCC depende do IAF, e ela é reduzida à medida que a interceptação de luz é incompleta. Quando estiver acima do IAF ótimo, a redução da TCC é causada por perdas respiratórias, consequência do sombreamento excessivo, que resulta em um balanço negativo de carbono (Da Silva & Sbrissia, 2001).

Quando se trabalha com valores acima do IAF crítico há declínio na proporção de folhas e o maior acúmulo passa a ser proveniente de colmos. Ao mesmo tempo, os teores dos componentes da parede celular aumentam. Esse comportamento foi validado

por Korte et al. (1982) em estudos realizados com azevém perene, onde foram avaliadas estratégias de manejo fundamentadas em combinações entre intervalo e intensidade de desfolhações, baseadas no IAF residual. Os autores concluíram que a utilização da pastagem quando o dossel atingiu 95% de IL, foi a estratégia que permitiu melhor utilização da forragem.

Em trabalhos clássicos com plantas forrageiras de clima temperado (Korte et al., 1982) e, mais recentemente, com plantas de clima tropical (Bueno, 2003; Carnevalli, 2003; Barbosa, 2004; Voltolini 2006), foi relatado que o ponto ideal para pastejo de diferentes forrageiras foi quando a interceptação de luz (IL) atingiu 95%. A partir de 95% de IL pelo dossel, houve redução na taxa média de acúmulo e comprometimento na sua estrutura e seu valor nutritivo. Também ocorreu redução no percentual de folhas, aumento nos percentuais de colmo e material senescido, indicando que prorrogar o período de descanso além desse ponto não consiste prática adequada (Da Silva, 2005).

Uma resposta importante nessa nova proposta do manejo do pastejo é a forte associação positiva e consistente que as medidas da altura do dossel têm apresentado com os valores de interceptação de luz. Deste modo, recomendações baseadas na altura do dossel poderão ser compreendidas e aplicadas pelos produtores (Da Silva, 2005).

Com base nesse conceito de interceptação de luz, alguns poucos trabalhos indicam que o capim-tifton-85 atingiu os 95% de interceptação luminosa em alturas de dossel ao redor de 20 cm. Estudos com outras espécies manejadas sob desfolha intermitente como *Panicum* e *Brachiaria* (não existem dados específicos para *Cynodon* em pastejo intermitente usando esta abordagem metodológica), sugerem que a altura recomendada para manejo sob lotação contínua corresponderia, numa boa aproximação, à condição média entre a altura de entrada e a altura de resíduo para a planta. Se isso se aplicar aos capins do gênero *Cynodon*, pode-se indicar que para o capim-tifton 85 seria recomendado uma altura de entrada para pastejo ou corte de 25 cm, com um rebaixamento para 15 cm de resíduo. (Pedreira, 2006).

Segundo Carnevalli, 1999 o valor nutritivo encontrado para o capim tifton-85 colhido na condição de 95% de interceptação de luz, foi de 17,2% PB, 67% FDN e 78% digestibilidade, assegurando assim alta produção de forragem com elevada proporção de folhas, baixa proporção de colmos, material morto, e de alto valor nutritivo.

2.8. Amoreira na alimentação de caprinos

A amoreira pertence à família Moraceae, ao gênero *Morus* e compreende as espécies: *Morus alba* L, *Morus lhou* Koidz, *Morus bombycis* Koidz, *Morus nigra* L. e

Morus rubra L., das quais destaca-se principalmente a primeira, conhecida também como amoreira-branca. Trata-se de uma planta perene, rústica, com facilidade de adaptação aos diversos solos, adaptando-se melhor aos mais férteis, aerados e com pH em torno de 6,5. Suas raízes atingem profundidades consideráveis, alcançando água em camadas subsuperficiais, mesmo na estação seca, permitindo que sua produção não sofra decréscimo acentuado nessa época do ano (Takahashi, 1988).

Em estudo realizado por Carnaz (1992), estimou-se produção da amoreira da ordem de 60% no período das águas e 40% no período das secas, demonstrando uma superioridade de produção no período seco em comparação com outras plantas forrageiras. Dentre os diversos cultivares existentes no Brasil, destacam-se, entre as mais cultivadas, a variedade Miura e os híbridos FM 86 e Shima Miura.

A produção de forragem dos híbridos FM 86 e Shima Miura de amoreira, em idades de 45 e 90 dias, foram, respectivamente, de 2,70 e 7,05 t/ha.ano de MS e 3,52 e 6,22 t/ha.ano (Brazão et al.,1992). Para os mesmos híbridos, Carnaz (1992) obteve produção média de folhas de 6,1 e 4,9 t/ha/ano de MS, respectivamente.

Estudando a composição bromatológica de diversos cultivares de amoreira, Brazão (1992) verificou acréscimo no teor de MS e FDN e diminuição no teor de PB com o crescimento da planta, verificando diferenças significativas quanto ao percentual de PB e FDN entre os cultivares, e maior produção de MS de folhas e caule para Shima Miura quando comparado às demais. Com relação à composição das folhas aos 90 dias, obteve para os cultivares Miura, Shima Miura e FM86, valores médios de, respectivamente, 25,88%; 23,61% e 23,53% de MS; 24,26%; 22,97% e 22,71% de PB; e 27,69%; 27,63% e 29,27% de FDN.

Singh *et al.* (1989) determinaram a degradação ruminal de folhas de amoreira (33% FDN, 54,5%FDA e 10,8% Lignina) pelo método *in situ*, obtendo valores de 77,6% para degradação potencial e 49,4% para degradação efetiva da matéria seca. Pelo teor de nitrogênio presente na amostra (2,76%), supõe-se que foram utilizadas plantas em estágio vegetativo bastante avançado.

A amoreira diferencia-se das gramíneas por apresentar maiores teores de proteína bruta e cálcio, menores valores de carboidratos fibrosos, bem como menos intensa variação em sua composição química e digestibilidade com o avanço de seu estágio de desenvolvimento. Outra vantagem da amoreira é que, ao contrário de outras forrageiras, com o avançar da idade, não ocorre diminuição no seu coeficiente de digestibilidade, que influenciaria negativamente a eficiência de sua utilização (Basaglia, 1993).

Os caprinos, animais alvo do presente estudo, são pequenos ruminantes, que

apresentam grande flexibilidade alimentar, preferindo consumir dicotiledôneas herbáceas, brotos e folhas de árvores e arbustos, diferenciando-se de outros ruminantes domésticos, que têm preferência por gramíneas. Pelo fato da amoreira apresentar alto teor de proteína e alta produção, além da ótima aceitabilidade pelos caprinos, constitui-se excelente volumoso para estes. De fato, Carregal & Takahashi (1983), comparando o valor nutritivo dos fenos de soja-perene (*Glicyne wighti* Verdec) e de amoreira, concluíram que este último tem valor nutritivo superior ao feno de soja perene.

A amoreira também apresenta alto teor de proteína, que é de alta degradabilidade. Porém, há outros pontos que influenciam no aproveitamento do alimento pelo animal, como, por exemplo, a disponibilidade de carboidratos na dieta, a relação energia: proteína dos alimentos, bem como fatores antinutricionais.

A síntese de proteína microbiana ocorre em ambiente claramente limitado pela energia (Teixeira, 1996). Isso pode ser crítico no caso de alimentação exclusiva de amoreira, que tem proporções inadequadas de energia. Esse fato torna-se mais importante se considerarmos que grande parte da proteína da amoreira (normalmente acima de 20% PB) é convertida em amônia, e que sua utilização está relacionada ao nível de energia e de carboidratos da dieta. Em verdade, Andriguetto *et al.* (1983) descreveram os efeitos do excesso de proteína na dieta e afirmaram que, além de acarretar uma sobrecarga ao fígado e aos rins, a alta percentagem de PB não resulta em aumento na produção animal que justifique o seu uso. O excesso de nitrogênio não protéico ou de proteína altamente solúvel (como parece ser o caso da amoreira) também pode causar intoxicação por amônia aos animais.

Em trabalho com ovinos, grande parte da proteína ingerida pelos animais é degradada no rúmen por ação dos microorganismos ali presentes, gerando grandes quantidades de amônia. Parte desta é utilizada para a síntese microbiana, mas grande proporção é, usualmente, perdida. Estas perdas podem ser minimizadas, se a taxa de fermentação dos carboidratos degradáveis no rúmen for devidamente sincronizada com a taxa de degradação da proteína, sendo que a relação energia:proteína pode ser alterada pelo tipo de carboidrato ou pela proporção de concentrado da dieta (Teixeira, 1996).

Outra característica relevante na amoreira diz respeito à possível presença de fatores antinutricionais em seus tecidos, que ainda não foram identificados. Este efeito pode ser inferido pelo baixo consumo de foragem apresentado por caprinos alimentados com dietas compostas exclusivamente ou com altas proporções de amoreira. Porém, faltam estudos mais aprofundados sobre o tema (Sabino Jr., 1996).

Faltam estudos também sobre o fracionamento de carboidratos e proteínas, para

melhor conhecimento do sincronismo de degradação da proteína e dos carboidratos presentes na amoreira.

2.9. Leucena na alimentação de caprinos

A leucena (*Leucaena leucocephala*) é uma leguminosa perene, de porte arbustivo ou arbóreo, da família Leguminosae, subfamília Mimosoideae e gênero *Leucaena*. A *L. leucocephala* é uma das espécies mais difundidas deste gênero, com ocorrência em quase toda a América e adaptada ao clima semi-árido (Brewbaker & Sorensen, 1990). Sendo assim, possui ótima adaptação às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro.

Apesar de ser encontrada em regiões de precipitações de 250 mm/ano, as melhores produtividades da leucena ocorrem em regiões com precipitação entre 600 e 3.000 mm. Esta planta desenvolve-se melhor em condições com insolação direta, perdendo as folhas quando sombreada. A leucena não cresce bem em solos ácidos, com altos teores de alumínio e, geralmente, deficientes em cálcio, magnésio, molibdênio e zinco. O plantio deve ser feito em solos férteis ou fertilizados, em que o pH esteja acima de 6. A capacidade de fixação de nitrogênio pode chegar a 500 kg/ha.ano em plantas bem noduladas e em solos favoráveis.

Para seu melhor estabelecimento, deve ser semeada no início do período chuvoso. O espaçamento e a densidade de semeadura variam de acordo com o objetivo da utilização. As plantas jovens da leucena são muito susceptíveis ao ataque de formigas, cupins e lagartas. Durante dois a três meses após a germinação, a cultura deve ser mantida livre da competição das plantas invasoras, até que a leucena atinja 1,0 m de altura, quando terá rápido crescimento, cobrindo o solo.

A produção de matéria seca desta leguminosa varia de acordo com o manejo, clima e variedade (Mitidieri, 1983), atingindo valores na faixa entre 12 e 25 t/ha.ano (Jones, 1979; Mitidieri, 1983; Hammond, 1995), ou até 46 t/ha.ano quando a área é adubada com nitrogênio (Silva, 1982).

Tem sido também observado por alguns autores a melhoria no desempenho animal devido à qualidade nutricional da leucena quando utilizada na suplementação de dietas de ruminantes. Garcia et al. (1996) revisaram 65 publicações com *Leucaena leucocephala* e relataram os seguintes percentuais nas características de valor nutritivo: 22,0% de proteína bruta; 39,5% de fibra detergente neutro; 35,1% de fibra detergente ácido; 7,9% de lignina; 8,0% de matéria mineral; 1,1% de tanino e 2,1% de mimosina. Quando somente folhas foram analisadas, o valor de PB aumentou para 29%. O teor de

tanino nas folhas não diferiu significativamente do valor encontrado na planta inteira (Garcia et al., 1996).

A leucena tem sido largamente utilizada para caprinos e apresenta excelente aceitação por esses animais. A utilização dessa leguminosa pode ser feita de diversas maneiras: cortes e fornecimento picado no cocho; pastejo em bancos de proteínas; fenação; silagem; adubação verde; consórcio com culturas anuais e gramíneas forrageiras e para produção de sementes.

O potencial produtivo da leucena para a alimentação animal pode ser prejudicado pela presença de fatores anti-nutricionais e fatores tóxicos produzidos através de metabolismo secundário de plantas. Nesse contexto, a leucena possui mimosina, uma substância que pode intoxicar os animais se essa forrageira for consumida em dieta exclusiva. Para uso em pastejo, o criador também precisa tomar cuidado para que os caprinos não venham à ingerir a casca das plantas, que contém altos teores de mimosina, o que pode resultar na morte dos animais.

Entre os fatores anti-nutricionais predominantes na leucena estão os taninos. Seu tipo mais comum é a proantocianidina, também conhecida como tanino condensado e sua presença pode afetar a utilização deste alimento pelos animais. Taninos condensados são polímeros de flavonóides, que se ligam ao carboidrato central por ligações covalentes de carbono/carbono, tornando-o não suscetíveis à quebra por hidrólise.

Alguns autores observaram efeitos negativos no consumo, na digestibilidade da proteína e de carboidratos e no desempenho dos animais alimentados com dietas contendo altas concentrações de taninos (Barry & Ducan, 1984; Barry & Manley, 1984; Terril et al., 1989). Este efeito negativo no desempenho animal é causado pela combinação da redução de consumo e da baixa digestibilidade da proteína (Reed et al., 1995). Os taninos complexam proteínas e outros componentes celulares sob condições de pH ruminal entre 5,5 e 7,5, protegendo-os do ataque microbiano e podendo liberá-los sob o pH ácido do abomaso (entre 2,5 e 3,0) (Jones & Mangan, 1977; Barry & Manley, 1984; Norton & Perez, 1995).

O maior fluxo de proteína do rúmen para o abomaso é considerado benéfico devido ao controle do excesso de amônia produzida pela degradação de compostos nitrogenados. Entretanto, pesquisadores levantaram a possibilidade de que nem toda a proteína fixada aos taninos seria liberada no abomaso. Alguns sugerem que os taninos diferem em sua capacidade de fixar proteína e, portanto, devem interferir na forma de liberá-las (Jones & Mangan, 1977; Perez-Maldonado et al., 1995; MacNeil et al., 1998).

No entanto, o tanino em baixas concentrações (3-4% de tanino na MS) pode apresentar algumas vantagens, como a proteção da proteína alimentar contra a excessiva degradação ruminal, aumento da absorção de aminoácidos provenientes da dieta no intestino delgado, diminuição do desperdício de amônia; prevenção do timpanismo, ação anti-hemíntica, e mais recentemente (Animut et al., 2008), a redução da produção de gás metano no rúmen (Waghorn et al., 1987; Reed, 1995).

Não existem estudos sobre a composição bromatológica da leucena em relação às frações de proteína, carboidratos e cinética de digestão dessas frações, sendo de grande importância estudos nesse sentido para conhecer a disponibilidade dos nutrientes para os animais, verificar a existência de sincronismo na degradação da proteína e carboidrato e propor estratégias de suplementação afim de otimizar a utilização das forrageiras pelos ruminantes.

2.10. Avaliação energética de forrageiras

O modelo proposto por Weiss, na Universidade de Ohio, nos EUA (Weiss et al., 1992), fornece uma estimativa da quantidade de energia disponível nos alimentos, utilizando-se informações obtidas em análises laboratoriais. Este modelo tem sido considerado um grande avanço em comparação ao modelo proposto por Conrad et al., (1984). Weiss e colaboradores demonstraram que a estimativa do valor de NDT pode ser realizada com exatidão e precisão, quando comparada com dados obtidos em experimentos. A estrutura básica do modelo foi adotada pelo NRC, em 2001. A expressão matemática do modelo proposto pode ser representada pela equação a seguir:

$$NDT_{1X} = PBvd + (AGvd * 2,25) + FDNvd + CNFvd - k$$

Sendo,

NDT_{1X} = Concentração em valores percentuais, do total de nutrientes digestíveis do alimento, quando animais estão consumindo em condição de manutenção

PBvd = Concentração de proteína verdadeiramente digestível;

AGvd = Concentração de ácidos graxos verdadeiramente digestíveis;

FDNvd = Concentração de fibra em detergente neutro verdadeiramente digestíveis;

CNFvd = Concentração de carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis;

k = Fração metabólica fecal expressa com fração do NDT. O valor médio dessa fração para o caso de alimentos oferecidos a bovinos foi de 7, ao que Weiss se refere como sendo o NDT metabólico fecal.

3. Referência Bibliográfica

- AFRC - AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. CAB International, Cambridge University Press, Cambridge, 159 p., 1993.
- ANDRIGUETTO, J. M. **Nutrição Animal: as bases da nutrição animal**. 4ª Edição. São Paulo: Nobel. v.1, 1983
- ANIMUT, G. PUCHALA; R. GOETSCH, A.L. et al. Methane emission by goats consuming different sources of condensed tannins. **Animal Feed Science and Technology**, v.144, p. 228-241.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; CARVALHO, F.C.; SILVA, N.L. **Criação de ovinos no semi-árido nordestino**. Circular técnico, Sobral. EMBRAPA Caprinos, v.19, 18 p., 1999.
- AZEVEDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; CARNEIRO, P.C.S. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1431-1442, 2003.
- BAFFI, M.H. **Utilização da amoreira (*Morus alba* L.) cultivar Yamada para caprinos: curva de crescimento e digestibilidade “in vitro”**. Jaboticabal. 1992. 35p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1992.
- BALSALOBRE, M.A.A. **Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado**, 2002, 113p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BARBOSA, P.F.; ASSIS, A.G. Modelos de simulação como auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de leite. In: BARBOSA, P.F.; ASSIS, A.G.; COSTA, M.A.B. (Eds.) **Workshop sobre modelagem e simulação de sistemas de produção animal: estado da arte e perspectivas**. São Carlos: Embrapa, 1999. p.1-28.
- BARBOSA, R.A. **Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem e capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) submetido a frequências e intensidades de pastejo**. 2004. 119 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- BARRY, M.C.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P. et al. **A manual for using the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets**. Revised for CNCPS release 3, august 22, 1994.
- BARRY, T.N.; DUNCAN, S.J. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* 1. Voluntary intake. **British Journal of Nutrition**, v.51, p.485-491, 1984.
- BARRY, T.N.; MANLEY, T.R. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus*. 2. Quantitative digestion of carbohydrates and protein. **British Journal of Nutrition**, v.51, p.493-504, 1984.
- BASAGLIA, R. **Eficiência de utilização da proteína da amoreira (*Morus alba* L.)**. Jaboticabal. 1993. 45p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1993.
- BRAZÃO, C.S. **Estudo da curva de crescimento e composição bromatológica da amoreira (*Morus alba* L.)**. Jaboticabal. 1992. 42p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1992.
- BREWBAKER, J.L.; SORENSSON, C.T. New tree crops from interspecific *Leucena* hybrids. In: JANICK, J.; SIMON, J.E. (Ed.) **Advances in new crops**. Portland: Timber Press, p.283-289, 1990.

- BRODERICK, G.A. Methodology for the determining ruminal degradability of feed proteins In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: DZO, 1995, p.139-176.
- BUENO, A.A.O. **Características estruturais do dossel forrageiro, valor nutritivo e produção de forragens em pastos de capim Mombaça submetidos a regimes de lotação intermitente**. 2003. 124 p. Dissertação (Mestrado Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- BURTON, G. W.; GATES, R. N.; HILL, G. M. Registration of Tifton 85 bermudagrass. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 3, p. 644-645, 1993.
- CABRAL, L.S., VALADARES FILHO, S.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações protéicas de alimentos tropicais e suas taxas de digestão estimadas através da incubação com proteases oriundas da microbiota ruminal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, 1999. Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999a.
- CABRAL, L.S., VALADARES FILHO, S.C., MALAFAIA, P.A.M., et al. Frações de carboidratos de volumosos tropicais e suas taxas de degradação estimadas através da técnica de produção de gases. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999b.
- CARNAZ, L. F. F. **Determinação da produção e perda de água de seis cultivares de amoreira (*Morus alba* L.)**. Jaboticabal. 1992. 28p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1992.
- CARNEVALLI, R.A. **Dinâmica da desfolhação de pastos de capim Mombaça submetidos a regimes de desfolhações intermitentes**. 2003, 136p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CARNEVALLI, R.A. **Desempenho de ovinos e resposta de pastagens de *Cynodon* spp. Submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua**. 1999, 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999
- CARREGAL, R.D., TAKAHASHI, R. Composição entre o valor nutritivo dos fenos de soja perene (*Glycine wrightii* verdec) e amoreira (*Morus alba* L.), através da digestibilidade aparente em coelhos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 20, 1983. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1983, p.66.
- CONE, J.W., VAN GELDER, A.H., STEG, A. et al. Prediction of in situ rumen escape protein from in vitro incubation with protease from *Streptomyces griseus*. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v.72, p.120-126, 1996.
- CONRAD, H.R. *et al.* Estimating net energy lactation from components of cell soluble and cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.427, 1984.
- DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP: FUNEP, 1997. p. 1-62.
- Da SILVA S.C.; SBRISIA, A.F. O ecossistema de pastagem e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 38, 2001, Piracicaba. A produção animal na visão dos brasileiros: **Anais...** Piracicaba: FEALQ; SBZ, 2001. p. 731-754.
- Da SILVA, S.C. Manejo do pastejo para a obtenção de forragem de qualidade. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE, 7., 2005, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: CBNA, 2005. p.117-146.

- FAVORETO, M.G.; DERESZ, F.; FERNANDES, A.M. et al. Avaliação nutricional da grama-estrela cv. Africana para vacas leiteiras em condições de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p. 319-327, 2008.
- FELISBERTO, N.R.O.; **Digestibilidade total e parcial e fluxo de nutrientes em cabras leiteiras alimentadas com diferentes fontes protéicas**. 2007, 83p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- FOX, D. G., Sistema de carboidratos e proteínas 'líquidos' para avaliação da nutrição de rebanhos e excreção de nutrientes (CNCPS Versão 5.0): documentação do Modelo CNCPS/ Danny Gene Fox ... [et al.]; **Tradução de Fernando César Ferraz Lopes ...** [et al.] - Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2003. 202p.
- FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O.; TYLUTKI, T. P. et al. The Cornell net carbohydrate an protein model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 112, n. 1/4, p. 29-78, 2004.
- GARCIA, G.W.; FERGUSON, T.U., NECKLES, F.A. et al. The nutritive value and forage productivity of *Leucaena leucocephala*. **Animal Feed Science and Technology**, v.60, p.29-41, 1996.
- GOMIDE, J.A., QUEIROZ, D.S. Valor nutritivo de leguminosas arbóreas e arbustivas. In: SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBUSTIVAS E ARBÓREAS, 1., 1993, Nova Odessa, **Anais...**, Nova Odessa, 1993, p.31-62.
- GONÇALVES, G.D; SANTOS, G.T.; JOBIM, C.C. Determinação do consumo, digestibilidade e frações protéicas e de carboidratos do feno de tifton 85 em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p. 804-813, 2003.
- HAMMOND, A.C. *Leucaena toxicosis and its control in ruminants*. **Journal of Animal Science**, v.73, p.1487-1492, 1995.
- HODGE, J.E., HOFREITER, B.T. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: WHISTLER, R.L., WOLFROM, M.L. (Eds.) **Methods in carbohydrates chemistry**. New York: Academic Press. p.380-394, 1962
- HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1990. 128p.
- JONES, R.J. El valor de *Leucaena leucocephala* como pienso para ruminantes em los tropicos. **Revista Mundial de Zootecnia** , v.31, p.13- 23, 1979
- JONES, W.T.; MANGAN, J.L. Complexes of condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein and their reversal by polyethylene glycol and pH. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v.28, n.2, p.126-136, 1977.
- KOHN, R.A., ALLEN, M.S. 1995. *In vitro* protein degradation of feeds using concentrated enzymes extracted from rumen contents. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, p.15-28, 1995.
- KORTE, C.J.; WATKIN, B.R.; HARRIS, W. Use of residual leaf area index and light interception as criteria for spring grazing management of a ryegrass dominant pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 25, p. 309-319, 1982.
- KRISHNAMOORTHY, U., SNIFFEN, C.J., STERN, M.D. et al. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. **British Journal of Nutrition**, v.50, n.2, p.555-568, 1983.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Guilford: CAB Internacional, chap.1, p. 3-36, 1996.
- LENG, R. A. Limitaciones metabolicas en la utilizacion de la caña de azucar y sus derivados para el crecimiento y produccion de leche en rumiantes. In: PRESTON, T.R., ROSALES, M. (Eds.) **Siculmas intensivos para la producción animal y energia**

- renovable con recursos tropicales.** Cali: CIPAV, 1988, p.1-24.
- LICITRA, G.; HERNANDES, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardizations of procedures for nitrogen fractionation of ruminants feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LIMA, G.F.C.; SOLLENBERGER, L.E.; MOORE, J.E. et al. Concentração e fracionamento do nitrogênio em gramíneas forrageiras tropicais e subtropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre:SBZ, [1999]. (CD-ROM).
- MANNETJE, L. Harry Stobbs memorial lecture, 1994. Potential and prospects of legume-based pastures in the tropics. **Tropical Grasslands**, v.31, n.2, p.81-94, 1997.
- MALAFIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação da cinética ruminal das frações protéicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1243-1251, 1997.
- MALAFIA, P.A.M.; VIEIRA, R.A.M. Técnicas de determinação e avaliação dos compostos nitrogenados em alimentos para ruminantes In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE DIGESTIBILIDADE EM RUMINANTES, Lavras, 1997. **Anais...** Lavras: FAEPE, 1997. p.29-54.
- MALAFIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p. 790-796, 1998.
- McCREADY, R.M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V. et al. Determination of starch and amylose in vegetables: application to peas. **Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.
- McDONALD, E.I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v.96, n.1, p.251-252, 1981.
- McNEILL, D.M.; OSBORNE, N.; OSBORNE, N. et al. Condensed tannins in the genus *Leucaena* and their nutritional significance for ruminants. In: SHELTON, H.M.; GUTTERIDGE, R.C.; MULLEN, B.F.; BRAY, R.A. (Ed.) *Leucaena – Adaptation, availability and farming system* (ACIAR), 86., 1998, Hanoi, **Proceedings...** Hanoi, 1998, p.205-214.
- MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A.; STEINGASS. et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they incubated with liquor in vitro. **Journal of Agricultural Science**, v.93, p.217-222, 1979.
- MERTENS, D.R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proceedings**, v.36, n.2, p.487-192, 1977.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal functions. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulações de rações. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. p.188-211.
- MITIDIERI, J. **Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais.** São Paulo: Nobel, 1983. 198p.
- MOTT, G.O. Potential productivity of temperate and tropical grassland systems. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14., Lexington, 1981. **Proceedings...** Lexington: IGC, 1981, p. 35-42.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requeriments of beef cattle.** 7.ed. Washington, D.C.: 1996. 244p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requeriments of the dairy cattle.** 7.ed. Washington, DC: Nacional Academic Washington, DC: Nacional

- Acadêmico Press,. Press, 2001. 363p.
- NOCEK, J., RUSSELL, J. B.. Protein and carbohydrate as an integrated system. Relationship of ruminal availability to microbial contribution and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2070-2107, 1988
- NORTON, B.W.; PEREZ, R.A.M. **Condensed tannin composition in Leucaena species. Leucnet News**, n.2, set 1995. Disponível em: <<http://users.ox.ac.uk/~dops0024/ln2htm>> Acesso em: jul/ 1999).
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed weighted according to rate passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.
- PATEL, R.Z. A note on the seasonal variations in starch content of different parts of arabica coffee trees. **East African Agricultural and Forestry**.v.36, p.1-6, 1970
- PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. *Cynodon* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000, p.109 – 134.
- PEDREIRA, C.G.S.; TONATO F. Bases ecofisiológicas para o Manejo de gramíneas do gênero *Cynodon* In: III SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2006, Viçosa, **Anais...**Viçosa: UFV., 2006. p 93-111.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.
- PEREIRA, J.C. **Degradación ruminal de diversos subproductos agroindustriales.** Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 1992. 223p. Doutorado - Universidad Politécnica de Madrid, 1992.
- PEREZ-MALDONADO, R.A.; NORTON, B.W.; KERVEN, G.L. Factors affecting *in vitro* formation of tannin-protein complexes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.69, p.291-298, 1995.
- REED, J.D. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. **Journal of Animal Science**, v.73, p.1516-1528, 1995.
- RIBEIRO, G.K.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Caracterização das frações que constituem as proteínas e os carboidratos, e respectivas taxas de digestão, do feno de Capim-Tifton 85 de diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.589-595, 2001.
- RUSSEL, J.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Rumen fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992
- SABINO JUNIOR, R, RESENDE, K. T., CARVALHO, F. F. R. Composição química e digestibilidade *in vivo*, em caprinos, de três cultivares de amoreira (*Morus alba* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 34., 1996, **Anais...** Juiz de Fora, 1996, p..
- SANTOS, L.E. et al. Manejo de pastagens para a produção de ovinos. SIMPÓSIO MINEIRO DE OVINOCULTURA, WORKSHOP SOBRE CORTES DIFERENCIADOS, 2., 2002, Lavras, **Anais...** Lavras:UFLA, 2002, p. 105-140.
- SILVA, D.H. **Concentração e acúmulo de nutrientes e determinação do coeficiente de digestibilidade da MS a nível de rúmen da Leucaena leucocephala (Lam) De Wit cv. peru em função da idade.** Piracicaba, 1982. 73p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.
- SINGH, B., MAKKAR, H. P. S., NEGI, S. S. Rate and extent of digestion and potentially digestible dry matter and cell wall of various tree leaves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 72, p. 3233-3239, 1989.
- SNNIFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562 - 3577, 1992.

- TAKAHASHI, R. **Sericultura: Amoreira (*Morus alba* L.) Bicho da Seda (*Bombyx mori* L.)**, Jaboticabal: FCAV/UNESP, (apostila), 1988, 135 p.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the Cornell net Carbohydrate and protein system. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1648-1658, 2000.
- TEIXEIRA, J. C. **Minimização da perdas de nitrogênio em ovinos**. In: SILVA SOBRINHO, A. G. *et al.* Nutrição de ovinos. Jaboticabal: FUNEP. (apostila), 1996. p. 81-117.
- TERRIL, T.H.; WINDHAM, W.R.; HOVELAND. *et al.* Forage preservation method in fluences on tannin concentration, intake and digestibility of *Sericea lespeza* by sheep. **Agronomy Journal**, v.81, p.435-439, 1989.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA. *et al.* J.A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal Bristish Grassland Society**, v.18, n.2, p.104-111, 1963.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Ithaca, New York: *Cornell*, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A.; Methods for dietary fiber, neutral fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. *et al.* Fracionamento e cinética de degradação *in vitro* dos compostos nitrogenados da extrusa de bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.880 – 888, 2000a.
- VIEIRA, R.A.M. PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. *et al.* Fracionamento dos carboidratos e Cinética de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro da extrusa de bovinos a Pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.889 – 897, 2000b.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 1: Estimating parameters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**, v.255, p.345-356. 2008.
- VILELA, D.; ALVIM, M. J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ:ESALQ, 1998. p. 23-54.
- VOLTOLINI, T.V. **Adequação protéica em rações com pastagens ou com cana-de açúcar e efeito de diferentes intervalos entre desfolhas da pastagem de Capim Elefante sobre o desempenho lactacional de vacas leiteiras**. 2006. 167p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006
- WAGHORN, G.C.; JOHN, A.; JONES, W.T.; SHELTON, I.D. Nutritive value of *Lotus corniculatus* L. containing low and medium concentrations of condensed tannin for sheep. **Proceedings of New Zealand Society of Animal Production**, v.47, p.25-30, 1987.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R. A theoretically-based model predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

Fracionamento e atributos cinéticos da digestão no rúmen dos carboidratos e compostos nitrogenados de forrageiras tropicais

RESUMO – Objetivou-se determinar as frações proteicas e de carboidratos, medir os parâmetros cinéticos de degradação ruminal destas frações nas forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena. Os teores de proteína bruta (PB), de nitrogênio não-protéico (NNP), de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram mensurados para decompor os compostos nitrogenados em quatro frações, a saber, A, B₁, B₂ e C. Ao incubar as forrageiras em um sistema *in vitro* com proteases oriundas do *Streptomyces griseus* obteve-se os perfis de degradação das frações proteicas. Análises dos teores de açúcares, amido, fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) foram feitas para se determinar as frações A e B₁ dos carboidratos, e a interpretação cinética dos perfis de degradação *in vitro* da FDN foi utilizada para obtenção das frações B₂, C e taxa de degradação da fração B₂. Com a combinação das técnicas *in vitro* gravimétricas e de produção de gases obteve-se as taxas de degradação das frações A e B₁. Com relação aos valores das frações proteicas, o capim-tifton 85 possui maior proporção da fração B₂, enquanto a amoreira e leucena maiores proporções das frações A e B₁. A leucena apresentou as menores taxas de degradação das frações proteicas B₁ e B₂ (0,1005 e 0,0631 h⁻¹). As frações de carboidratos A, B₁, B₂, e C variaram entre 2,80 e 5,16; 17,87 e 66,19; 20,83 e 54,08; e 7,83 e 25,25 para as forrageiras estudadas, sendo que o capim-tifton 85 possui maior proporção da fração B₂, enquanto a amoreira e leucena da fração B₁. As taxas de degradação das frações de carboidratos A, B₁ e B₂ foram 0,78; 0,41 e 0,084 h⁻¹ no capim-tifton 85; 0,35; 0,07 e 0,274 h⁻¹ na amoreira e 0,1965 e 0,3846 h⁻¹ para as frações A+B₁ e B₂ na leucena, respectivamente. A proteína presente na amoreira apresenta maior disponibilidade que a proteína da leucena. As forrageiras estudadas apresentaram baixo teor de amido, o que não justifica a análise de tal componente, podendo este ser obtido por diferença entre CNF, FSDN e açúcares. As forrageiras não apresentam perfeita sincronização entre as frações de carboidratos e proteína com taxas de degradação semelhantes causando perdas de nitrogênio no rúmen.

Palavras-chave: Açúcares, amido, bromatologia, CNCPS, nutrição

1. Introdução

A determinação da composição bromatológica utilizando o fracionamento de proteína e carboidratos, bem como parâmetros relacionados ao processo de degradação nos compartimentos rúmen e retículo, é de fundamental importância para prever o valor nutritivo dos alimentos e, com isso, estimar o desempenho animal em sistemas de produção de ruminantes.

Com o modelo inicialmente desenvolvido na Universidade de Cornell, denominado CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) (Sniffen et al., 1992; Russel et al., 1992; Fox et al., 1992), uma nova forma de se prever o desempenho de ruminantes foi adotada. Até então, os programas de predição de desempenho eram estáticos, não levando em consideração os vários componentes do alimento com suas diferentes taxas de degradação ruminal e suas interações. O programa de Cornell é um sistema dinâmico, adotando taxas de passagem e taxas de degradações diferenciadas para cada fração da proteína e dos carboidratos. Esse programa parte de um modelo dinâmico que leva em consideração a interação dos diferentes componentes dos alimentos, e tem por objetivo adequar a digestão ruminal dos carboidratos e das proteínas, visando maximizar a produção microbiana, a redução das perdas do nitrogênio pelo animal e estimar o escape ruminal de nutrientes.

De acordo com Sniffen et al. (1992), os alimentos devem ser fracionados para se obter adequada caracterização dos mesmos. A proteína bruta (PB) pode ser subdividida na fração A, constituída de compostos nitrogenados não-protéicos (NNP); na fração de rápida degradação ruminal, que seria a proteína solúvel (fração B₁); nas frações com taxa de degradação intermediária e lenta no rúmen (fração B₂ e B₃); e na fração C, correspondente à proteína insolúvel em detergente ácido, não degradada no rúmen e indigestível nos intestinos. Da mesma forma, os carboidratos totais podem ser subdivididos na fração A, correspondente à fração solúvel, constituída de açúcares de rápida degradação no rúmen; na fração composta de amido e pectina (fração B₁); na fração correspondente à porção digestível da parede celular (fração B₂); e na fração C, que corresponde à fração não degradável da parede celular.

O estudo das forrageiras capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*), amoreira (*Morus albus*) e leucena (*Leucaena leucocephala*), com relação à sua composição bromatológica mais detalhada e as determinações das taxas de degradação de suas frações é fundamental para identificar a quantidade de cada nutriente que o animal tem condições de utilizar e

as principais causas limitantes do nível de produção. Com isso, é possível fazer o balanceamento de dietas com capacidade de explorar o potencial dessas forrageiras visando atender adequadamente às exigências nutricionais dos ruminantes, diminuir perdas e alcançar o máximo desempenho.

Face ao apresentado especulou-se neste trabalho a existência de sincronização entre as diversas frações de proteína e carboidratos com taxas de degradação semelhante permitindo melhor uso das entidades para o crescimento microbiano e o desempenho do hospedeiro com perdas mínimas de nutrientes para o ambiente.

2. Material e métodos

As forrageiras estudadas foram o capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*), a amoreira (*Morus albus*) variedade mucheie II, desenvolvida por pesquisadores do Setor de Sericicultura da UFV e a leguminosa leucena (*Leucaena leucocephala*) cv. peruano. Todas forrageiras foram produzidas no Setor de Caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, em área total de 0,92 hectares, sendo 0,68 hectares de capim-tifton 85, 0,12 hectares de amoreira e 0,12 hectares de leucena. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa. A umidade relativa média do ar é de 64,7% e a precipitação pluviométrica média anual é de 1369,6 mm. A região apresenta duas estações bem definidas, sendo que 80% das chuvas ocorrem entre os meses de outubro a março, correspondendo ao período chuvoso, e os 20% restantes, entre os meses de abril a setembro, correspondente ao período seco.

O capim-tifton 85 foi colhido na condição de 95% de interceptação luminosa, com altura média de 20 cm e 16 dias de idade. A amoreira e leucena foram colhidas com 50 dias de rebrotação e altura média de 1,09 e 1,04 respectivamente. Todas forrageiras foram amostradas durante o período de transição seca-água, com base no resíduo pós-pastejo e adubadas com 250 Kg N/ha, 250 Kg K₂O /ha e 63 Kg P₂O₅/ha divididas em três aplicações. Para a amoreira e leucena, observou-se o que estava sendo consumido pelos caprinos no banco de proteína, sendo que o material colhido foi constituído apenas de folha, que foi o que os animais realmente ingeriram. No caso, do capim-tifton 85 foi coletado amostras de aproximadamente 10 cm na altura do dossel, supondo que os animais estariam entrando no piquete com altura de 20 cm e saindo quando atingisse 10 cm de resíduo.

As amostras foram secas em estufa à 55°C durante 72 horas, posteriormente, foram moídas, passadas em peneira de 1 mm e analisadas para teores de matéria seca (MS), nitrogênio total (NT), extrato etéreo (EE) e cinzas, utilizando-se as técnicas descritas por Silva & Queiroz (2002), e de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), segundo Van Soest et al. (1991). Determinações dos teores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram realizados nos alimentos conforme técnica descrita por Licitra et al. (1996), e de lignina em ácido sulfúrico (LDA), conforme descrito por Pereira & Rossi Jr. (1995).

Os valores estimados de carboidratos totais (CT) e carboidratos não-fibrosos

(CNF) foram obtidos a partir das equações propostas por Sniffen et al. (1992) e Van Soest et al. (1991), respectivamente:

$$CNF = \frac{N_{total} - N_{insoluble}}{N_{total}}$$

$$CNF = \frac{N_{total} - N_{insoluble}}{N_{total} - N_{insoluble}}$$

O fracionamento de proteína foi realizado em quatro frações (A, B₁, B₂ e C), de acordo com as seguintes metodologias: a fração A (NNP), foi determinada pela diferença entre o N total e o N insolúvel em ácido tricloroacético a partir do tratamento de 0,5g de amostra com 50 mL de água por 30 minutos, adicionando-se em seguida, 10 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10% por mais 30 minutos. A seguir procedeu-se a filtragem da amostra utilizando-se papel filtro (Whatman 54) medindo-se o N residual pelo método Macro kjeldahl. O nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram dosados nos resíduos de FDN e FDA, respectivamente e os teores protéicos foram obtidos pela multiplicação dos teores de nitrogênio pelo fator 6,25. A fração C, constitui o PIDA (proteína insolúvel em detergente ácido) e a fração B₂, proteína de degradação lenta, foi determinada pela diferença entre a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e a PIDA, segundo Sniffen et al. (1992). A fração B₁, proteína de degradação mais rápida que a B₂, foi determinada pela diferença 100 - (A + B₂ + C).

As taxas de degradação ruminal das frações protéicas B₁ e B₂ foram obtidas via incubação das amostras *in vitro*, a 39°C, com proteases comerciais bacterianas de *Streptomyces griseus*, (número catalográfico P-5147, Tipo XIV, Sigma Chemical Co., Saint Louis, Missouri, EUA). Em frascos erlenmeyers (125 mL) foram adicionados 0,5 g de amostra e 40 mL de solução-tampão à base de tetraborato de sódio (Na₂B₄O₇.10H₂O; 13,17 g L⁻¹) e fosfato de sódio monobásico (NaH₂PO₄.H₂O; 7,6 g L⁻¹), ajustado para pH 8. Os frascos foram mantidos em mesa de agitação orbital, dentro de sala incubadora a 39°C, por uma hora, para hidratação e estabilização da temperatura. Logo após adicionou-se 10 ml de solução enzimática nas amostras que permaneceram incubados por 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36 e 48 horas. Um frasco que continha apenas a solução-tampão e a solução enzimática foi usado como branco. A solução enzimática¹ foi preparada para conter 33 unidades mL⁻¹, pois quando adicionados 10 ml dessa solução a atividade enzimática passou para 6,6 unidades mL⁻¹ (Krishnamoorthy et al.,1983). Após cada tempo de incubação, removeu-se o frasco correspondente e

¹ Para calcular a massa de pó enzimático comercial a ser usado, basta tomar a atividade final desejada para a solução, dividi-la pela atividade enzimática do produto e multiplicar o quociente pelo volume total de solução enzimática a ser empregado.

adicionou-se aproximadamente 20 ml de ácido tricloroacético a 10% (TCA) para cessar a atividade enzimática. Logo após, transferiu quantitativamente o seu conteúdo para um funil com papel-filtro quantitativo de filtragem rápida, utilizando aproximadamente 200 mL de ácido tricloroacético a 1% (TCA) como veículo. Em seguida, o papel-filtro com o resíduo foi transferido para um tubo macro-Kjeldahl onde foram adicionados 30 mL de ácido sulfúrico e aproximadamente 10 gramas de mistura digestora seguindo os passos para determinação do teor de nitrogênio.

Obtidos os perfis de degradação da proteína bruta (PB) das amostras, procedeu-se à interpretação matemática para obtenção das estimativas das taxas de degradação, com base no modelo:

$$R(t) = R_0 - U \exp[-kd(t-L)] + U + e \quad (1)$$

$$R(t) = R_0; 0 \leq t \leq L$$

em que $R(t)$ corresponde ao resíduo de incubação da proteína bruta da amostra num determinado tempo; R_0 : quantidade de proteína bruta presente no alimento incubado; kd : taxa de degradação, (h^{-1}); t : tempo (horas); U : fração protéica indegradável; e : erro associado.

Pressupondo que os valores obtidos para a fração C representavam estimativas razoáveis para este mesmo parâmetro na equação (1), as taxas de degradação das frações foram obtidas após inspeção gráfica do logaritmo natural dos resíduos de incubação da proteína bruta, em função do tempo, para identificação dos diferentes intervalos em que os pontos não desviavam da linearidade. A identificação desses intervalos permitiu o ajuste dos dados a equações de regressão linear, cujos coeficientes de regressão correspondiam às taxas de degradação das frações protéicas potencialmente degradáveis. Para tanto, foi realizada a seguinte correção nos perfis de degradação:

$$\ln [R(t) - U] = \ln [B_1 e^{-kd_1 t} + B_2 e^{-kd_2 t}] \quad (2)$$

em que B_1 corresponde à fração B_1 da proteína e B_2 à fração da proteína ligada à fibra (fração B_2); kd_1 : taxa de degradação da fração B_1 da proteína; kd_2 : taxa de degradação da fração B_2 da proteína; t : tempo (horas)

Os teores de amido e fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) foram obtidos segundo metodologia Hall et al. (1999). Em frascos erlenmeyers (250 mL) foram pesados 0,6 g de forragem, adicionados 120 mL de etanol 80% e levados para mesa de agitação orbital. Após agitação de 4 horas, filtrou-se o conteúdo sob vácuo em funil de vidro mais papel de filtro Whatman GF/A (análise de amido), ou papel de filtragem

rápida (análise de FSDN e açúcares), lavando o resíduo duas vezes com etanol 80% e duas vezes com acetona. O resíduo foi utilizado para análise de amido e de FSDN.

A análise de amido foi feita após transferir o resíduo com papel filtro para um béquer de 100 mL onde adicionou 30 ml de água destilada, 100 µL de alpha amilase termoestável (A 3306) da Sigma e agitou-se com agitador magnético. Em seguida os béquers foram cobertos com papel alumínio e levados para banho-maria a 92-93°C por uma hora. Após, deixou-se esfriar por 15 minutos em temperatura ambiente e filtrou-se com funil de vidro em balão de 100 mL completando o volume para 100 mL. Aliquota de 1 mL foi retirada e transferida para um balão volumétrico de 50 mL, onde foram adicionados 8 ml de tampão acetato de sódio e 50 µL de amiloglicosidade (A 3514) da Sigma. As amostras foram levadas para banho-maria a 60°C por 30 minutos, agitando-as a cada 10 minutos. Após retirar do banho-maria completou-se com água destilada o volume de 50 mL. Em seguida analisou-se o teor de glicose, usando o reagente glicose oxidase peroxidase.

Para análise dos teores de FSDN, procedeu-se a agitação da amostra com etanol 80% por 4 horas. Após agitação, o material foi filtrado em cadinho poroso para determinação da matéria orgânica (MO) e em filtro de papel Whatman 54 ou 541 para determinar o conteúdo de nitrogênio no resíduo insolúvel em etanol (RIE).

Os valores FSDN foram obtidos de acordo com a seguinte equação:

$$FSDN = \left(\frac{RIEMO - RIEPB}{100} \right) \times FDN_{cp} - AMIDO \quad (3)$$

em que RIEMO: resíduo de matéria orgânica insolúvel em etanol; RIEPB: resíduo de proteína insolúvel em etanol; FDN_{cp}: Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para os teor de cinzas e proteína;

Os teores de carboidratos solúveis em água foram determinados por espectrofotometria, através da coloração azul-esverdeado formado quando esses compostos foram aquecidos em solução de antrona em meio fortemente ácido (Deriaz, 1961).

A degradação *in vitro* da FDN foi realizada ao incubar as amostras em frascos de penicilina (100 mL) tendo como inóculo líquido de rúmen, acrescido de solução de meio e redutora de acordo com Goering & Van Soest, 1970. Os frascos foram mantidos em sala incubadora com aquecimento (39°C) em mesa de agitação orbital automática. Os tempos de incubação foram de 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 e 96 horas. Terminada a incubação, o conteúdo de cada frasco foi transferido quantitativamente para um copo-béquer de 500 mL, ao qual eram adicionados 100 mL de solução detergente neutra.

Após 1 hora de fervura, filtrou-se o conteúdo do béquer em um cadinho de massa previamente conhecida, utilizando água destilada quente para a lavagem e transferência do resíduo final, com subsequente lavagem com acetona. Ao final, o cadinho que continha o resíduo foi levado à estufa (105°C), para secagem e posterior pesagem.

Os perfis de degradação da fibra em detergente neutro (FDN) obtidos pelo procedimento descrito acima foram interpretados cineticamente, utilizando o modelo proposto por Matis et al. 1989, Matis, 1972 e Vieira et al. 2008a considerando a ordem de dependência do tempo (N).

$$R(t) = R_0 - U \left\{ \delta^N \exp(-k_d t) + \exp(-\lambda t) \sum_{i=0}^{N-1} \left(-\delta^{N-i} \right) \frac{t^i}{i!} \right\} + U + e \quad (4)$$

$$\delta = \lambda / (k_d - \lambda)$$

em que: $R(t)$ corresponde ao resíduo de incubação após determinado tempo t (h); $R(0)$ equivale à fração potencialmente degradável (%); U : corresponde à fração indegradável (%); k_d : corresponde à taxa de degradação da fração potencialmente degradável da FDNcp (h^{-1}); N : ordem de dependência do tempo relacionado à preparação do substrato para digestão; λ : taxa de preparação do substrato para degradação; i : Denotação subscrita da ordem dependência do tempo; t : tempo (horas) e : erro associado

A equação foi ajustada para os perfis de degradação por meio do algoritmo Maquardt dos procedimentos PROC NLIN do SAS. O aumento de ordem dependência do tempo foi aplicado para avaliar a qualidade de ajuste do modelo.

O critério de escolha do melhor modelo foi a probabilidade de verossimilhança calculada a partir do critério Akaike, simplificado da seguinte forma:

$$\Delta_{AIC} = n_t \log_e (SQ_{res2} / SQ_{res1}) \quad (5)$$

$$P_r = \exp(-\Delta_{AIC} / 2) / \left[\sum \exp(-\Delta_{AIC} / 2) \right] \quad (6)$$

em que, n_t se refere ao número de dados no perfil de degradação da fibra; SQ_{res} corresponde a soma de quadrado do resíduo; P_r refere-se à probabilidade de verossimilhança (Burnham & Anderson, 2004, Vieira et al., 2008a).

A FDN corrigida para seu conteúdo em proteína e cinzas (Van Soest et al., 1991) foi obtida por meio da fervura das amostras na solução detergente neutra, sendo, em seguida, o cadinho com o resíduo de FDN levado para à mufla a 600°C, por 3 horas, para determinação do teor de matéria mineral insolúvel no detergente neutro. A correção para a proteína foi realizada ao utilizar o valor da proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN). As frações B₂ e C foram obtidas da seguinte maneira:

$$B_2 \%CT = (1 - U) * FDN_{cp} \quad (7)$$

$$C \%CT = U * FDN_{cp} \quad (8)$$

em que U equivale à fração indegradável (%); FDN_{cp} representa a fibra em detergente neutro, corrigida para cinzas e proteína.

A produção cumulativa de gases da fermentação foi obtida após incubações anaeróbicas *in vitro* em sala climatizada a 39°C, com base nas metodologias descritas por Malafaia et al. (1998), com modificações.

As incubações foram conduzidas em frascos de vidro (100 mL) hermeticamente fechados com tampa de borracha e lacre em alumínio. Foram adicionados 40 mL de solução de meio, 2 mL de solução redutora de acordo Goering & Van Soest (1970), 10 mL de líquido de rúmen e 500 mg de matéria seca de extrusa moída a 1 mm, em quadruplicata. As medições de pressão e volume foram realizadas por meio de um manômetro (0-1 kgf/cm²) acoplado a uma seringa de vidro (20 mL) (Figura 01) nos seguintes tempos 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 18; 24; 30; 36; 40; 48; 56; 68; 72 e 96 horas após a adição do inóculo ruminal coletado de um bovino alimentado exclusivamente com feno de capim-tifton 85.



Figura 1 – Sistema para medição de pressão e de volume

As taxas de degradação das frações A e B₁ dos carboidratos foram estimadas por meio da combinação entre as técnicas *in vitro* gravimétricas e de produção de gases.

Uma vez obtido o perfil de produção dos gases da matéria seca das forrageiras, o volume final dos gases foi estimado por meio do ajuste do modelo:

$$V_t = V_f \left\{ 1 - \left\{ \delta^N e^{-kt} + e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{N-1} \left(-\delta^{N-i} \lambda t^i / i! \right) \right\} \right\} + e \quad (9)$$

$$\delta = \lambda / (\lambda - k_d)$$

em que V_t corresponde ao volume acumulado de gás no tempo t , expresso em mL/100 mg de MS incubada; V_f refere-se ao volume máximo produzido; e λ corresponde ao preparo do substrato para a digestão; K_d refere-se a taxa de degradação expressa em h^{-1} ; N refere-se ordem de dependência do tempo relacionado à preparação do substrato para digestão; i : Denotação subscrita da ordem dependência do tempo; t : tempo (horas) e : erro associado.

Quando se detectou as frações A' e B_1' no perfil de degradação dos CNF, o volume final dos gases foi estimado por meio do ajuste do modelo a seguir:

$$V_t = V_{f1} \left\{ 1 - \left\{ \delta_1^N e^{-k_1 t} + e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{N-1} \left(-\delta_1^{N-i} \lambda t^i / i! \right) \right\} \right\} +$$

$$V_{f2} \left\{ 1 - \left\{ \delta_2^N e^{-K_2 t} + e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{N-1} \left(-\delta_2^{N-i} \lambda t^i / i! \right) \right\} \right\} + e \quad (10)$$

$$\delta_1 = \lambda / (\lambda - k_1); \quad \delta_2 = \lambda / (\lambda - k_2)$$

em que: $V(t)$: volume acumulado de gás, expresso em mL/100 mg de MS incubada; V_{f1} : volume máximo produzido; λ : taxa de preparação do substrato para digestão; k_1 : taxa de degradação da fração A dos carboidratos expressa em h^{-1} ; k_2 : taxa de degradação da fração B_1 dos carboidratos expressa em h^{-1} ; i : Denotação subscrita da ordem de dependência do tempo; t : tempo (horas); e : erro associado.

Estimado o volume final V_f e considerando os teores de $FDN_{cp} = CF$ e $CNF = CT - CF$, foram preditas as contribuições sobre o V_f de cada um desses componentes (CF e CNF), com base na pressuposição de que o volume de gás produzido por unidade monomérica de carboidrato assimilado e fermentado pela massa microbiana é o mesmo para carboidratos fibrosos e não-fibrosos (Beuvink et al., 1992; Schofield & Pell, 1995; Hall et al., 1998).

3. Resultados e Discussão

O teor de proteína foi elevado em todas as forrageiras estudadas (Tabela 1). Como animais ruminantes raramente apresentam exigência em proteína superior a 18% (NRC 2001; NRC 2007), é possível que o fornecimento exclusivo desses alimentos cause elevadas perdas de N por excreção urinária e fecal.

Tabela 1 – Análise bromatológica das forrageiras

Item	Planta forrageira		
	Tifton-85	Amoreira	Leucena
MS (g.kg ⁻¹)	187,4	224,2	255,4
MO (g.kg ⁻¹)	868,2	876,8	925,5
EE(g.kg ⁻¹)	23,9	42,5	36,3
PB(g.kg ⁻¹)	229,0	261,1	283,9
CHOT (g.kg ⁻¹)	615,4	573,2	605,4
CNF(g.kg ⁻¹)	127,4	408,9	389,3
FDN (g.kg ⁻¹)	650,5	270,4	353,0
FDNc (g.kg ⁻¹)	612,2	231,8	306,1
FDNcp (g.kg ⁻¹)	488,3	164,2	216,1
FDA (g.kg ⁻¹)	281,0	125,3	155,9
PIDN (g.kg ⁻¹)	112,3	69,0	93,7
PIDA (g.kg ⁻¹)	22,9	21,1	41,9
LDA (g.kg ⁻¹)	74,8	50,6	88,7
LDA:FDNcp (%)	15,3	30,8	41,04
FDA:FDN (%)	43,2	46,3	44,2
Hemicelulose (g.kg ⁻¹)	56,8	53,7	55,8
Açúcares (g.kg ⁻¹)	17,2	29,5	23,4
Amido (g.kg ⁻¹)	1,9	1,9	00,7
FSDN (g.kg ⁻¹)	117,2	344,2	329,7
Açúcares e Amido: FSDN	0,16	0,09	0,7
Cinzas (g.kg ⁻¹)	131,7	123,2	74,4
Ca (g.kg ⁻¹)	4,9	20,2	8,6
P(g.kg ⁻¹)	7,8	3,6	2,3
K(g.kg ⁻¹)	15,5	14,4	12
Mg (g.kg ⁻¹)	2,3	2,8	1,4

MS=matéria seca; MO=matéria orgânica; PB=proteína bruta; EE=extrato etéreo; CHOT=carboidratos totais; CNF=carboidratos não fibrosos; FDN=fibra em detergente neutro; FDNc=FDN corrigida para cinzas; FDNcp=FDN corrigida para cinzas e proteína; FDA=fibra em detergente ácido; NT = nitrogênio total; NIDN=nitrogênio insolúvel em detergente neutro; NIDA=nitrogênio insolúvel em detergente ácido; LDA=lignina em detergente ácido; FSDN = Fibra solúvel em detergente neutro; Ca=cálcio; P=Fósforo; K=Potássio; Mg=Magnésio.

Nesse sentido, supõe-se desnecessário o uso de bancos de proteína de amoreira ou leucena para atender a demanda em proteína de animais consumindo pastos de capim

tifton-85, manejados com base no critério de 95% de interceptação de luz pelo dossel na condição pré-pastejo.

O capim-tifton 85, apesar de ter sido colhido em menor estágio de desenvolvimento, com apenas 16 dias, apresentou teor de FDN mais que duas vezes superior à amoreira. Esse maior teor de FDN se deve à maior concentração de carboidratos fibrosos presentes na parede celular do capim-tifton 85; diferentemente da amoreira, que possui maior teor de carboidratos não fibrosos. Os teores de FDN presentes na amoreira e leucena (Tabela 1) são semelhantes aos valores encontrados para resíduos de agroindústrias, como a polpa cítrica (24,31%) e bagaço de mandioca (10,95%).

Para todas as forrageiras, os valores de extrato etéreo (Tabela 1) estão dentro dos valores esperados na literatura (Valadares Filho et al, 2006; Dorigan et al, 2004; Godoy, 2007). O extrato etéreo presente nas forragens é constituído de ácidos graxos (galactolípideos) e não ácidos graxos (ceras, clorofilas e galactose), sendo que este último não constitui fração energética do alimento.

Os valores de CNF presentes na amoreira e na leucena se aproximaram do máximo recomendado para ruminantes pelo NRC (2001), que é de 38 a 42%. Dessa forma, a utilização de alimentos concentrados, com o objetivo de suplementar tais forrageiras, poderia causar efeitos negativos sobre o ambiente ruminal.

No entanto, verifica-se que a composição dos CNF nessas forrageiras, apresentou baixo teor de amido e de açúcares, porém alto teor de FSDN. Este último também é denominado de polissacarídeos não amiláceos com presença de pectinas, (1→3) (1→4) β-glicanas e frutosanais; e possui padrão de fermentação diferenciado do amido e açúcares, porque não causa redução no pH ruminal, o que poderia prejudicar a degradação dos carboidratos fibrosos. Alimentos como grãos de cereais, à semelhança do milho e do trigo, que normalmente participam de dietas de ruminantes em produção, apresentam perfil dos CNF bastante diferente, onde o amido representa cerca de 80% ou mais desta fração.

A razão entre amido e açúcares/FSDN para o capim-tifton 85, amoreira e leucena foram 0,16; 0,09; e 0,07; respectivamente. Bomfim (2003) estudou a natureza dos carboidratos solúveis em detergente neutro (CSDN) em dietas para cabras em lactação e verificou que os valores dessas razões variaram de 0,89 a 2,92. As razões mais altas provocaram efeito negativo sobre a digestibilidade da FDN e CSDN, mas, por outro lado, resultaram em queda na excreção de N urinário e maior retenção de N, possivelmente pelo melhor sincronismo de degradação dos carboidratos e proteína.

Dessa forma, é possível inferir que, pelo fato das forrageiras estudadas possuírem baixa razão entre amido e açúcares/FSDN, ocorreria grande perda de N na forma urinária ou fecal e pequeno aproveitamento da proteína rapidamente degradável, presente em alta concentração nesses alimentos, se os animais forem alimentados exclusivamente por esses alimentos.

Em relação ao perfil da fração fibrosa, verificou-se que a percentagem de lignina na FDN_{cp} foi de 15,3; 30,8; e 41,04% para o capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente. Isso revela que existe maior percentagem de lignina na amoreira e leucena que no capim-tifton 85.

Pelo cálculo da digestibilidade verdadeira da FDN, empregando o método de Weiss et al. (1992), equação 12, constataram-se valores de digestibilidade maior para o capim-tifton 85 (76,3%) e menores para a amoreira (67,3%) e para leucena a (60,2%).

$$FDN_{vd} = \left[FDN_{cp} - \left(\frac{LDA}{FDN_{cp}} \right)^3 \right] \quad (11)$$

Esses valores poderiam indicar que a fibra da amoreira e da leucena, apesar de menor concentração, é de pior qualidade. Porém, os dados de degradação da FDN obtidos no presente trabalho, que serão discutidos *a posteriori*, não confirmaram tal hipótese. Nesse sentido, é possível que a lignina não esteja apresentando efeito negativo na fração de fibra disponível. Além disso, a não utilização do reagente sulfito de sódio nas análises, pode ter superestimado os valores de lignina.

Considerando que a fração indigerível da FDN após longo período de degradação corresponde à LDA multiplicado pela constante 2,4; os valores relatados para o capim-tifton 85, amoreira e leucena foram de 29,17%; 21,18% e 35,17% CT, respectivamente. Esses dados são diferentes dos obtidos no presente trabalho, que utilizou a estimativa da fração indegradável (U) para o cálculo da fração C, sendo 15,54%, 4,48%; 10,03% CT no capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente.

Os valores da fração C da FDN obtidos como LDA multiplicado pela constante 2,4 são oriundos de uma aproximação menos fidedigna. A constante 2,4 é um valor generalizado obtido a partir de vários perfis de degradação da fibra. Por outro lado, os valores obtidos por procedimentos laboratoriais são mais confiáveis, sendo a fração indegradável constituída da fração de FDN potencialmente disponível que ficou complexada ou indisponível devido às interações físico-químicas com a lignina.

No presente estudo, adotou-se o fracionamento da proteína em quatro frações (A, B₁, B₂ e C) em vez de cinco (A, B₁, B₂, B₃ e C), conforme inicialmente proposto no CNCPS (Sniffen, 1992). A razão para a divisão em duas frações, B₁ e B₂, no modelo

original foi feita para caracterizar proteínas de natureza química distintas. No entanto existem argumentações contrárias à esta divisão (Van Soest, 1994 ; Broderick, 1995), uma vez que o comportamento cinético do processo de degradação de proteínas existentes no conteúdo celular é muito semelhante, sugerindo um comportamento nutricional uniforme. Dessa forma, assumiram-se duas frações para a proteína bruta presente no conteúdo celular, fração A (NNP) e fração B₁ (proteína verdadeira solúvel em detergente neutro e disponível no ambiente ruminal). Além disso, outro forte argumento para se adotar somente quatro frações de compostos nitrogenados está ligado ao emprego de técnicas laboratoriais mais simples, tornando tais procedimentos mais acessíveis às análises de rotinas nos laboratórios e com custo reduzido.

Os alimentos apresentaram diferenças quanto às suas frações protéicas (Tabela 2). O capim-tifton 85 apresentou alto teor de proteína bruta (229 g/kg MS) e de sua fração A ou nitrogênio não-protéico (NNP) (31,12% PB). Esses valores foram muito superiores aos descritos na literatura. Realmente, Ribeiro et al. (2001) obtiveram 16,47 e 22,10% respectivamente, para esse capim cortado com 35 dias. Da mesma forma, Malafaia et al. (1997) avaliaram a mesma gramínea, cortada aos 60 dias, e relataram valores de 10,22% de PB e 17,38% de NNP para o capim-tifton 85, valores semelhantes aos descritos por Cabral et al. (1999a).

Tabela 2 – Frações da proteína presente nas plantas forrageiras

Frações (% PB)	Forrageira		
	Tifton-85	Amoreira	Leucena
A	31,12	13,89	24,89
B ₁	20,50	59,66	42,07
B ₂	38,47	18,34	18,26
C	9,90	8,10	14,78

Os maiores teores de proteína e de NNP encontrados no presente trabalho podem estar relacionados à menor idade do capim-tifton 85 (16 dias), que foi colhido quando o dossel interceptou 95% de luz. Nesta condição, as plantas mediram aproximadamente 20 centímetros de altura, o que demonstra seu menor estágio de desenvolvimento. Com o avanço da maturidade das plantas, o nitrogênio presente no conteúdo celular, prontamente disponível à degradação, passa a ser utilizado para síntese de tecidos de sustentação ou colmos, de menor disponibilidade ao animal. Nesse sentido, plantas jovens apresentam maiores teores de NNP e fração B₁.

Além disso, é possível que o manejo da adubação nitrogenada, realizada nos meses anteriores à amostragem, tenha ocasionado aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo. Assim, provavelmente, houve consumo de luxo do nitrogênio pela planta, conforme já relatado por Balsalobre, 2002. O que contribuiu para aumentar o seu teor protéico e, principalmente, da sua fração A. Corroborando esse argumento, Henriques et al. (2004) avaliaram as frações nitrogenadas das gramíneas setária (*Setaria anceps*, Stapf), hermátria (*Hermathria altissima*), angola (*Brachiaria mutica*) e acroceres (*Agroceres macrum*, Stapf) em diferentes idades de corte e sob níveis de adubo nitrogenado, e observaram que a adubação aumentou os teores das frações nitrogênio não-protéico (A) e compostos nitrogenados de degradação rápida e intermediária ($B_1 + B_2$). De acordo com os autores, as frações, expressas na base de % da MS, aumentaram de 2,24 a 9,58% para a fração A; de 3,71 a 5,58% para a fração $B_1 + B_2$; de 3,13 a 4,46% para a fração B_3 ; e de 0,85 a 1,07% para a fração C, em plantas aos 42 dias e adubadas com 0 a 400 kg/ha de nitrogênio.

Dessa forma, em sistemas de produção intensivos de leite ou carne em pastagens tropicais, onde doses elevadas de N são aplicadas visando altas taxas de lotação, os pastos, desde que colhidos no momento certo, terão elevados teores de proteína bruta (Romero et al, 2008). Por outro lado, esses altos teores de proteína nas plantas, podem gerar excessivas perdas de amônia pelo animal. Portanto, aplicações elevadas de N devem ser evitadas, de forma que sejam aplicadas doses que propiciem teores de PB abaixo de 18% nas plantas.

A soma das frações A e B_1 (NNP, peptídeos e aminoácidos prontamente disponíveis no rúmen), totalizaram 51,61% da PB, o que demonstra que existe grande quantidade de nitrogênio solúvel no capim tifton-85 (Tabela 2). As altas proporções dessas frações podem levar a perda de N no rúmen, na forma de amônia, pois elevadas quantidades de fração solúvel requerem maior suprimento de carboidratos de rápida degradação ruminal, para que ocorra sincronismo de fermentação entre carboidratos e proteína (Nocek & Russell, 1988).

Caso a quantidade de carboidrato prontamente degradável no rúmen seja baixa, a alta proporção de proteína solúvel (fração A + B_1) promoverá grandes perdas de nitrogênio via amônia. Esta pode ser reciclada para o rúmen via saliva ou parede ruminal, no entanto, grande parte do N precisa ser metabolizada e retirada do organismo através do ciclo da uréia (Owens & Zinn, 1988), processo em que há gasto de energia.

A fração B_2 foi 38,74% no capim-tifton-85 (Tabela 2), e representa a proteína de maior proporção em gramíneas tropicais e é obtida pela subtração do nitrogênio

presente na FDN pelo nitrogênio presente na FDA, o que corresponde à proteína aderida à parede celular, com potencial para ser degradada e, no entanto, com baixa taxa de degradação. Apesar do capim-tifton 85 apresentar menor estágio de desenvolvimento, possui mais de 45% da proteína ligada à fração fibrosa das plantas, o que reduz sua possibilidade de uso pelos animais.

Desse modo, as frações que representam cerca de 80% da proteína do capim-tifton 85 (A, B₂ e C) apresentam certo desequilíbrio. Em relação à fração A (NNP), se não houver adequado fornecimento de carboidratos rapidamente fermentáveis, a perda do NNP na forma de amônia pode ser alta. A fração B₂ possui taxa de degradação lenta, mas pode ser aproveitada no intestino delgado, enquanto a fração C, que representou 9,90% da proteína bruta, não é disponibilizada ao animal. Isso significa que, apesar dos altos teores de proteína no capim-tifton 85, poderá, em algum momento após o consumo da forragem pelos animais, ocorrer déficit de proteína metabolizável (Balsalobre, 2002).

Os microrganismos presentes no rúmen que utilizam os CNF não são eficientes em fazer uso da amônia, oriunda da degradação de compostos ricos em NNP. Nesse sentido, é de se esperar que o uso do capim-tifton 85 na forma exclusiva, leve à perda substancial de amônia, já que esses microrganismos fazem uso principalmente de peptídeos e aminoácidos (Russel et al., 1992).

O teor protéico da amoreira (cv. Mucheae II) foi 26,11%, semelhante aos valores 26,10%; 25,33% e 25,65% obtidos por Brazão (1992), Vasconcelos (1994) e Magário (1993), que trabalharam com os cultivares FM 86, FM Shima Miura e Yamada, respectivamente.

A leucena apresentou 28,39% de proteína bruta, superior aos valores obtidos por Barros et al. (2003) e Godoy et al. (2007). A porcentagem de NNP presente na amoreira e leucena foram de 13,89% e 24,89%, respectivamente. Os elevados valores obtidos para as frações A das forrageiras em estudo podem ser atribuídos à adubação realizada durante os meses anteriores à amostragem, ocasionando absorção do nitrogênio pela planta e, conseqüente, aumento na fração do nitrogênio não-protéico, como descrito por Peyraud & Astigarraga (1998).

Para todas as forrageiras estudadas, a porcentagem de NNP superou as recomendações na literatura (Haddad, 1984), para níveis máximos de NNP na dieta para ruminantes, que é de até 1% na matéria seca.

A soma das frações A e B₁ presentes na amoreira e leucena foram 73,55% e 66,96%, respectivamente; enquanto que a fração B₂ foi de apenas 18,34% e 18,26%,

respectivamente, o que evidencia a maior presença da proteína ligada à fração não fibrosa nessas plantas.

Em relação ao capim-tifton 85, a soma das suas frações A e B₁ foi de 51,61% e a fração B₂, de 38,74%. Dessa forma, a proteína dessa forrageira apresenta-se em maior proporção na forma de proteína lentamente degradável (B₂), a qual tende a escapar do rúmen e contribuir com aminoácidos no intestino delgado. De outro modo, a maior parte da proteína da amoreira e leucena apresentam-se na forma de proteína prontamente degradável no rúmen (B₁), sendo necessário o uso de suplementação com carboidratos prontamente fermentáveis para a melhor utilização desses compostos nitrogenados. (Russell et al. 1992). Considerando as partições da proteína em compartimentos distintos na planta, é possível que a mistura entre as forrageiras venha a proporcionar maior equilíbrio para o aproveitamento deste nutriente pelos animais.

Dentre as forrageiras estudadas, a leucena apresentou maior valor de fração C (14,78%), em comparação à da amoreira (8,10%) e do tifton (9,90%). Isso pode ter ocorrido em razão da maior presença de nitrogênio ligado à lignina presente nas ráquis, estruturas de sustentação que são encontradas nas folhas de leucena.

As taxas de digestão das frações nitrogenadas são importantes para o atendimento da demanda dos microrganismos ruminais, para adequado crescimento microbiano, e influenciam o escape de proteína aos intestinos. Nesse contexto, observou-se, para o capim-tifton 85, taxas de degradação da fração B₁ de 0,257 h⁻¹ e da fração B₂, de 0,1056 h⁻¹ (Tabela 3).

Para amoreira e leucena, respectivamente, observaram-se taxas de degradação da fração nitrogenada B₁ de 0,3036 e 0,1005 h⁻¹, e da fração B₂, de 0,1076 e 0,0631 h⁻¹ (Tabela 3). Dessa forma, as frações nitrogenadas presentes na amoreira apresentaram maior taxa de degradação que aquelas na leucena, de forma que a proteína presente na amoreira possui maior disponibilidade que a proteína na leucena.

Dentre as forrageiras estudadas, a leucena foi a que apresentou menor taxa de degradação da fração B₂ (0,0631 h⁻¹). Esta fração da proteína, por estar associada aos compostos fibrosos, apresenta baixa taxa de degradação, apesar da elevada taxa de degradação desses compostos (0,1808 h⁻¹), o que parece indicar uma dissociação completa entre os processos de degradação dos nutrientes. A fração B₂ contribui com grande parte da proteína que chega ao intestino delgado sem ser degradada no rúmen. Assim, o resíduo indigerível dessa fração em conjunto com a fração C representa grande parte das proteínas ingeridas que são excretadas nas fezes.

Tabela 3 – Teores e taxas de degradação das frações nitrogenadas

Forrageira	Teor (g.kg ⁻¹ MS)				Taxa de degradação(h ⁻¹)	
	A	B ₁	B ₂	C	B ₁	B ₂
Tifton-85	71,29	46,95	88,13	22,68	0,2570	0,0798
Amoreira	36,28	155,75	47,87	21,16	0,3036	0,1076
Leucena	70,69	119,48	51,85	41,97	0,1005	0,0631

Devido à elevada proporção de N solúvel (A+B₁) e à alta taxa de degradação da fração B₁ (0,3036 h⁻¹) presente na amoreira, pode-se inferir que sua proteína tende a ser rapidamente degradada no rúmen, o que pode resultar em perdas significativas de N, se não houver adequado sincronismo com a fermentação de carboidratos de rápida fermentação ruminal.

Em relação às frações de carboidratos, o capim-tifton 85 apresentou fração B₂ de 54,08% CT e soma das frações A+B₁ de 20,67% CT (Tabela 4). Esses valores foram diferentes dos obtidos por Malafaia et al. (1998), que encontraram para a mesma forrageira cortada aos 60 dias, 74,38% CT de fração B₂ e soma das frações A+B₁ de 5,45% CT. Cabral et al. (2000a) também encontraram, para o capim-tifton 85 cortado com 30 cm, valores de fração B₂ igual a 68,73% CT e soma das frações A+B₁ de 14,67% CT, o que evidencia a pior qualidade do material analisado nesses trabalhos, com menores teores de proteína bruta (10,22% e 14,65%) e maior estágio de desenvolvimento, diferentemente do capim-tifton 85 do presente trabalho.

As maiores proporções de carboidratos fibrosos reafirmam a grande importância desses compostos, particularmente da sua fração potencialmente degradável, como fonte de energia para os animais alimentados com pasto, e também demonstram que os carboidratos não fibrosos presentes em gramíneas tropicais, como o capim-tifton 85, raramente ultrapassam 20% dos carboidratos totais.

Por outro lado, a amoreira e a leucena apresentaram 71,29% e 64,30% CT na forma de frações A + B₁, o que sugere que esses alimentos sejam considerados como de alta qualidade, devido sua alta proporção de carboidratos altamente fermentáveis. A fração B₂ apresentou apenas 20,87 e 25,69% CT, na amoreira e leucena, respectivamente. Diferentemente do capim-tifton 85, essas forrageiras possuem maiores percentagens de carboidratos não fibrosos e menores de carboidratos fibrosos.

Tabela 4 – Frações de carboidratos presente nas plantas forrageiras

Frações (% CT)	Forrageira		
	Tifton-85	Amoreira	Leucena
A	2,80	5,17	3,90
B ₁	17,87	66,12	60,40
B ₂	54,08	20,87	25,69
C	25,25	7,84	10,03

A fração C dos carboidratos totais pode ser considerada indisponível tanto no rúmen como no intestino. Essa fração totalizou 25,25; 7,84 e 10,03% CT, no capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente.

A fração A dos carboidratos totais corresponde aos açúcares solúveis, tais como a glicose e os dissacarídeos, com função de reserva nas plantas, e são rapidamente fermentados no rúmen (Sniffen et al., 1992). Na fração B₁ estão presentes o amido e a pectina, que apresentam taxa de degradação intermediária, variando de 30 a 70%/h. A pectina é rapidamente digerida, sendo que alguns tipos de amido são degradados mais lentamente. No presente trabalho, o teor de açúcares para o capim-tifton 85 foi de 1,72% e de amido, 0,19% MS, valores muito inferiores aos obtidos por Ribeiro et al (2001), que encontraram para o mesmo capim, com 28 dias, teor de proteína de 17,58%, CNF igual a 5,29%, FDNcp de 67,29%, valores de 3,95% de açúcares e 1,72% de amido na MS. Possivelmente, a menor concentração de açúcares e de amido no capim-tifton 85 do presente estudo, é devido à menor idade desse material (16 dias), que possui pouco carboidrato de reserva.

Dentre as frações A+B₁, a amoreira e a leucena apresentaram, respectivamente, 2,95 e 2,34 % MS em açúcares; 0,19 e 0,07 % MS em amido; e 34,42 e 32,97% MS em FSDN. Dessa forma, verifica-se que a principal composição dos CNF é FSDN e não amido (carboidrato de reserva).

Os alimentos estudados apresentaram baixa concentração de amido (Tabela 1), não sendo justificável a análise laboratorial deste componente para forrageiras, pois, trata-se de uma técnica extremamente trabalhosa e de alto custo. Além disso, o mesmo pode ser obtido por diferença: Amido = CNF – fibra solúvel em detergente neutro (FSDN) – Açúcares.

Tabela 5 - Teores e taxas de degradação das frações de carboidratos

Forrageira	Teor (g.kg ⁻¹ MS)				Taxa de degradação (h ⁻¹)		
	A	B ₁	B ₂	C	A	B ₁	B ₂
Tifton-85	17,25	109,92	332,73	155,36	0,78	0,41	0,084
Amoreira	29,55	379,38	119,39	44,85	0,35	0,07	0,275
Leucena	23,61	365,66	155,53	60,72	0,1965*		0,1808

*Taxa de degradação A+B₁

A taxa de digestão encontrada para a fração B₂ do capim tifton-85 (0,084 h⁻¹) foi maior que as obtidas por Malafaia et al. (1998), Cabral et al. (1999b) e Ribeiro et al. (2001), possivelmente pelo menor estágio de desenvolvimento desse capim no momento da amostragem realizada no presente trabalho, o que fez com que essa forrageira apresentasse fibra com grande facilidade de ser degradável. De fato, Sniffen et al. (1992) obteve, para o feno de alfafa, taxa de degradação da fibra semelhante (0,080 h⁻¹) à encontrada para o capim-tifton 85, o que novamente classifica esta última forrageira como de excelente qualidade.

As taxas de degradação das frações A e B₁ no capim-tifton 85 foram de 0,78 e 0,41 h⁻¹, respectivamente. Valor semelhante foi encontrado por Sniffen et al. (1992), em feno de alfafa, qual seja, que apresentou taxa de degradação da fração B₁ entre 0,35 e 0,40 h⁻¹. A elevada taxa de degradação da fração B₁ é oriunda principalmente da FSDN que apresenta maior proporção que o amido.

Para as forrageiras amoreira e leucena, foram obtidas, respectivamente, as taxa de digestão da fração B₂ de 0,275 e 0,1808 h⁻¹, ou seja, essas forrageiras apresentam componentes fibrosos de elevada degradação. As frações A e B₁ apresentaram taxas de degradação de 0,35 e 0,07 h⁻¹ na amoreira. Para cálculo da taxa de degradação dos CNF na leucena, foi necessário realizar a junção das frações A e B₁, devido não ter sido possível separar o que seria oriundo de cada fração nas curvas de produção de gases. Desse modo, a taxa de degradação das frações A+B₁ na leucena foi 0,1965 h⁻¹ (Tabela 5).

Verificou-se que a taxa de degradação da fração B₂ foi maior que a taxa de degradação da fração B₁ na amoreira, enquanto que, na leucena, os valores de taxa de degradação dos CF e CNF foram semelhantes. Tal fato pode ter ocorrido devido à incubação de forrageiras com elevado teor de proteína gerar menor produção de gás durante os ensaios *in vitro* de produção de gases. Cone & Van Gelder (1999) constataram que, principalmente nas horas iniciais de incubação, para cada unidade percentual de proteína fermentada, houve redução de 2,48 ml/g MO, devido à

fermentação das proteínas solúveis, as quais podem afetar o volume final de gás das frações A e B₁. A concentração de amônia, oriunda da fermentação da proteína, influencia o equilíbrio da solução tampão, por capturar íons H⁺ e prevenir a liberação de CO₂. Além disso, as maiores taxas de digestão da fração B₂ na amoreira e leucena podem ser atribuídas ao tipo de parede celular presente nesses materiais, com menor proporção de feixes vasculares e tecidos de sustentação.

Dos carboidratos totais (CT) presentes na amoreira e leucena, 71,29 e 64,30 %, respectivamente, estão na forma de carboidratos não fibrosos (açúcares, amido e FSDN), com alta taxa de degradação, sendo que 20,87 e 25,69% estão na forma de carboidratos fibrosos potencialmente degradáveis, também com elevada degradação. Dessa forma, essas forrageiras são alimentos extremamente degradáveis, tanto do conteúdo celular, em maior proporção, como da parede celular, em menor proporção, com grande possibilidade de apresentar boa sincronização de degradação entre carboidratos e proteínas.

4. Conclusões

As forrageiras não apresentam perfeita sincronização entre as frações de carboidratos e proteína com taxas de degradação semelhantes causando perdas de nitrogênio no rúmen.

5. Referência Bibliográfica

- BALSALOBRE, M.A.A. **Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado**, 2002, 113p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BARROS, N.N., VASCONCELOS, V.R. ARAÚJO M.R.A. et al. Influência do grupo genético e da alimentação sobre o desempenho de cordeiros em confinamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, 2003
- BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.37, p.505-509, 1992.
- BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. **Sociological Methods & Research**, v.33, p.261-304, 2004.
- BOMFIM, M.A.D. **Carboidratos solúveis em detergente neutro em dietas de cabras leiteiras**, 2003, 119p. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2003.
- BRAZÃO, C.S. **Estudo da curva de crescimento e composição bromatológica da amoreira (*Morus alba* L.)**. Jaboticabal. 1992. 42p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1992.
- BRODERICK, G.A. Methodology for the determining ruminal degradability of feed proteins In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: DZO, 1995, p.139-176.
- CABRAL, L.S., VALADARES FILHO, S.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações protéicas de alimentos tropicais e suas taxas de digestão estimadas através da incubação com proteases oriundas da microbiota ruminal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, 1999. Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1999a.
- CABRAL, L.S., VALADARES FILHO, S.C., MALAFAIA, P.A.M., et al. Frações de carboidratos de volumosos tropicais e suas taxas de degradação estimadas através da técnica de produção de gases. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, Porto Alegre, 1999. **Anais...**Porto Alegre: SBZ, 1999b.
- CONE, J.W., VAN GELDER, A.H. Influence of protein fermentation on gas production profiles. **Animal Feed ScienceTechnology**, v.76(3-4), p.251-264, 1999.
- DERIAZ, R.E. Routine analysis of carbohydrate and lignin in herbage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.12, p.150-160, 1961.
- DORIGAN, C.J.; RESENDE, K.T.; BASAGLIA, R. et al. Digestibilidade *in vivo* dos nutrientes de cultivares de amoreira (*Morus alba* L.) em caprinos. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.539-544, 2004.
- DUBOIS M., GILLES K.A., HAMILTON J.K. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. III. Cattle requirements and diets adequacy. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3578-3596, 1992.
- GODOY, P.B. **Aspectos nutricionais de compostos fenólicos em ovinos alimentados com leguminosas forrageiras**. 2007, 90p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: USDA, 1975. 20p. (Agricultural Handbook N^o. 379).
- HADDAD, C.M. Uréia em suplementos alimentares. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS – Uréia para ruminantes, 2., 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1984. p.119-141.
- HALL, M.B. HOOVER, W.H., JENNINGS, J.P. et al. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, v. 79, p.2079-2086, 1999.
- HENRIQUES, L. T.; COELHO DA SILVA, J. F.; VÁSQUEZ, H. M. et al. Fracionamento dos compostos nitrogenados de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte e adubação nitrogenada “1”. In: REUNIÃO ANNUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, Campo Grande, 2004.
- KRISHNAMOORTHY, U., SNIFFEN, C.J., STERN, M.D. et al. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. **British Journal of Nutrition**, v.50, n.2, p.555-568, 1983.
- LICITRA, G.; HERNANDES, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardizations of procedures for nitrogen fractionation of ruminants feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996
- MALAFIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação da cinética ruminal das frações protéicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1243-1251, 1997.
- MALAFIA, P.A.M., VALADARES FILHO, S.C., VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p. 790-796, 1998.
- MAGÁRIO, K.C. **Estudo da composição bromatológica da amoreira (Morus alba L.) cultivar Yamada em várias idades de crescimento**. 1993. 34p. (Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, para graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 1993.
- MATIS, J.H., Gamma time-dependency in Blaxter's compartmental model. **Biometrics**, v.28, 597–602, 1972.
- MATIS, J.H., WEHRLY, T.E., ELLIS, W.C., Some generalized stochastic compartmental models for digesta flow. **Biometric**, v.45, p.703–720, 1989.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Washington: National Academic Press, 2001, 387p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. 2007, 362p.
- NOCEK, J., RUSSELL, J. B.. Protein and carbohydrate as an integrated system. Relationship of ruminal availability to microbial contribution and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2070-2107, 1988
- OWENS, F.N.; ZINN, R. Protein metabolism of ruminant animals. In: CHURCH, D.C. (Ed.). **The ruminant animal, digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, p.227-249, 1988.
- PEREIRA, J.R.A.; ROSSI JR, P. **Manual prático de avaliação de alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 1995. 25p.
- PEYRAUD, J.L., ASTIGARRAGA, L. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, p.235-259, 1998.

- RIBEIRO, G.K.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Caracterização das frações que constituem as proteínas e os carboidratos, e respectivas taxas de digestão, do feno de Capim-Tifton 85 de diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.589-595, 2001.
- ROMERO, J.V. **Compostos nitrogenados e de carboidratos em pastos de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) cv. Cameron manejados com intervalos de desfolhação fixos e variáveis**. 2008. 99p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" /Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- RUSSEL, J.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Rumen fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992
- SCHOFIELD, P.; PELL, A.N. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3455-3463, 1995.
- SILVA, D. J e QUEIROZ, A. C.; 2002. **Análise de Alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: UFV, 2002, 235 p.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577. 1992.
- VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; CAPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 329p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Ithaca, New York: *Cornell*, 1994. 476p.
- VASCONCELOS, V. R. **Degradação ruminal da amoreira (*Morus alba* L.) em caprinos**. Jaboticabal. 1994. 86 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1994.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 1: Estimating parameters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**, v.255, p.345-356. 2008a.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, v.255, p.357-368. 2008b.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R. A theoretically-based model predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

Simulação do consumo e do desempenho de caprinos em crescimento alimentados com forrageiras tropicais

RESUMO - Objetivou-se simular o desempenho e consumo em caprinos alimentados exclusivamente com as forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena, para verificar os nutrientes que limitam o máximo desempenho. Para realização das simulações foi utilizado o modelo nutricional semelhante ao “Cornell Net Carbohydrate and Protein System” (CNCPS) com modificações em relação à modelagem dos atributos cinéticos de digestão e passagem do alimento. . A categoria animal escolhida para realização das simulações foi a de cabritas leiteiras em crescimento, após o desmame, com massa corporal de 20 kg e potencial máximo para ganho diário de 150 g. A repleção ruminal limita a taxa de consumos de matéria seca em 0,87 kg/dia para o capim-tifton 85; 3,20 kg/dia para a amoreira e 2,15 kg/dia para a leucena. As estimativas de consumo de matéria seca para atender a demanda energética são de 0,875; 0,744 e 0,732 kg/dia para o capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente. Os valores de balanço de nitrogênio amoniacal no rúmen variam de 8,5 a 11,0. As produções de massa microbiana oriundas dos CT foram 104,97 g/dia para o capim-tifton 85; 81,51 g/dia para a amoreira e 118,29 g/dia para a leucena. O fator limitante do desempenho de caprinos que consomem capim-tifton 85 ou amoreira exclusivamente é a proteína metabolizável. O fornecimento de leucena, na forma exclusiva, supre a demanda em proteína metabolizável para promover máximo desempenho. A limitação de consumo das forrageiras estudadas é determinada pela demanda energética dos animais. O uso das forrageiras como única fonte de alimento para os caprinos limita o máximo desempenho na fase de crescimento

Palavras-chave: massa microbiana, modelo, nutrientes digestíveis totais, suplementação

1. Introdução

Em sistemas de produção de caprinos, as tomadas de decisão em relação ao manejo nutricional são de grande importância, uma vez que essas, quando erradas, podem trazer consequências prejudiciais ao sistema como um todo. Entre os insumos requeridos na atividade, os alimentos são os mais importantes por que fornecem os nutrientes para serem transformados em leite e carne. Inadequadas qualidade e quantidade de alimentos podem prejudicar o processo de produção. Assim, a alimentação em sistemas de produção de caprinos é um dos fatores decisórios entre sucesso e fracasso do empreendimento. Isto se deve também ao fato de que no lado econômico, um dos mais importantes fatores de sucesso é custo de produção, para o qual a alimentação animal contribui com importante parcela.

Estudos comparativos entre diferentes manejos de alimentação de caprinos deveriam ser realizados em função do desempenho animal, para poder dar melhor suporte aos produtores na tomada de decisões, porém estas avaliações são onerosas.

Diante da impossibilidade de quantificar diretamente o desempenho de caprinos consumindo diferentes volumosos, a utilização de modelos matemáticos e simulações de diferentes sistemas de produção surgem como ferramentas extremamente importantes que auxiliam na tomada de decisões.

Vários modelos de simulação têm sido desenvolvidos em diferentes países e instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento, com enfoques variados abrangendo aspectos específicos de determinada área do conhecimento científico-tecnológico. No Brasil, os modelos de simulação, apesar de serem ferramentas poderosas e de baixo custo, comparativamente à experimentação física, têm sido pouco utilizados (Barbosa & Assis, 1999).

Importantes componentes para o auxílio à tomada de decisões na caprinocultura e demais culturas de interesse zootécnico são os sistemas de estimação do valor nutricional dos alimentos e das exigências nutricionais dos animais. Tais sistemas, como o AFRC (1993, 1997), o NRC (1996, 2001), o sistema CNCPS (Fox et al., 1992; Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992, O'Connor et al., 1993) são baseados em conceitos empíricos e mecanicistas, e estruturados em modelos matemáticos, que apresentam diferentes níveis de agregação para as variáveis de estado.

O sistema desenvolvido na Universidade Cornell – CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) é um modelo matemático para avaliar a dieta e o

desempenho de animais ruminantes, sendo utilizado e aprimorado desde sua publicação no meio científico em 1992 (Fox et al., 2004). Seu conjunto de equações, muitas das quais com base mecanicista, ajudou a quantificar melhor os processos de degradação e escape das diferentes frações de carboidratos e compostos nitrogenados no rúmen e permitiu estimar o crescimento microbiano de forma mais acurada do que os sistemas que o precederam (Fox et al., 1992).

O uso de modelos para animais em pastejo é de grande importância para a determinação da eficiência de utilização da forragem, bem como para a formulação de suplementos concentrados visando aumentar a produção animal em pastagem (Genro et al., 2004).

Nesse sentido, objetivou-se simular o desempenho e o consumo de caprinos alimentados exclusivamente com as forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena, por meio de modelo nutricional semelhante ao CNPCS, para verificar os nutrientes que limitam o máximo desempenho animal.

2. Material e métodos

Foi utilizado o modelo nutricional semelhante ao “Cornell Net Carbohydrate and Protein System” (CNCPS), proposto por Russell et al. (1992) e Sniffen et al. (1992), com algumas modificações em relação à modelagem dos atributos cinéticos de digestão e passagem do alimento (Vieira et al., 2008ab), com o objetivo de simular a disponibilidade e o escape ruminal das frações de proteína e carboidratos, o balanço de nitrogênio, o crescimento microbiano, os nutrientes digestíveis totais e o desempenho de caprinos.

Os dados de composição bromatológica, fracionamento dos carboidratos e cinética de degradação do capim-tifton 85, amoreira e leucena, conforme a Tabela 1., foram tomados como base.

No sistema de produção de caprinos leiteiros, assumiu-se o desmame com 14 kg aos 60 dias, com objetivo de atingir 35 kg de peso à puberdade aos sete meses. Dessa forma, a categoria animal escolhida para realização das simulações foi a de cabritas leiteiras em crescimento, entre o desmame e a cobrição, com massa corporal de 20 kg e potencial para ganho diário de 150 g. Ficou estabelecido que os animais estariam consumindo exclusivamente as forrageiras.

O modelo animal adotado é composto por dois conjuntos de equações. O primeiro se refere à descrição dos alimentos quanto ao seu valor nutricional, enquanto função de características intrínsecas do alimento e das funções fisiológicas da categoria animal que o recebe (Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992). O segundo conjunto de equações do modelo animal é referente à determinação das exigências nutricionais diárias de caprinos em crescimento, geradas pelas funções produtivas e pelos processos de manutenção.

Tabela 1 - Composição bromatológica, frações e parâmetros da cinética de degradação das proteínas e carboidratos capim-tifton 85, amoreira e leucena.

Composição	Forrageira		
	Tifton-85	Amoreira	Leucena
MS (%)	18,74	22,42	25,54
MM (%MS)	13,17	12,32	7,44
PB (%MS)	22,90	26,11	28,39
EE (%MS)	2,39	4,25	3,63
FDN (%MS)	65,05	27,04	35,30
FDA (%MS)	28,10	12,53	15,59
CHOT (%MS)	61,54	57,32	60,54
LDA (%MS)	7,48	5,06	8,87
A (PB%)	31,12	13,89	24,89
B1 (PB%)	20,49	59,66	42,07
B2 (PB%)	38,74	18,34	18,26
C (PB%)	9,90	8,10	14,78
A' (CT%)	1,72	2,95	3,90
B1' (%CT)	10,99	37,94	60,40
B2' (%CT)	33,27	11,94	25,68
C' (%CT)	15,54	4,48	10,03
k _d B1 (h ⁻¹)	0,2570	0,3036	0,1005
k _d B2 (h ⁻¹)	0,0798	0,1076	0,0631
k _d A' (h ⁻¹)	0,7800	0,3500	0,1965
k _d B1' (h ⁻¹)	0,4100	0,0700	
k _d B2' (h ⁻¹)	0,0840	0,2740	0,1808
Ca (%MS)	0,49	2,02	0,86
P (%MS)	0,78	0,36	0,23
Mg (%MS)	0,23	0,28	0,14
K (%MS)	1,55	1,44	1,20
S (%MS)	0,18	0,17	0,15
Fe (ppm)	267,90	103,00	90,00
Mn (ppm)	305,00	107,00	38,00
Cu (ppm)	10,35	7,00	7,00
Zn (ppm)	32,22	25,00	17,00

Para determinação do valor nutritivo dos alimentos

Adotou-se a seguinte convenção:

i: índice referente aos ingredientes dietéticos;

j: índice relativo aos nutrientes;

m: número de ingredientes;

n: número de nutrientes;

1.1) Frações em compostos nitrogenados

A proteína foi dividida em quatro frações. Sendo A_i , $B1_i$, $B2_i$ e C_i os teores, respectivamente, das frações A, B1, B2 e C dos compostos nitrogenados, os montantes dessas frações serão:

$$PA_i = x_i A_i ;$$

$$PB1_i = x_i B1_i ;$$

$$PB2_i = x_i B2_i ;$$

$$PC_i = x_i C_i .$$

Dessa forma, a quantidade total de proteína bruta do i-ésimo ingrediente, PB_i , é igual à soma das quatro parcelas anteriores:

$$PB_i = PA_i + PB1_i + PB2_i + PC_i .$$

1.2. Frações em carboidratos

Sendo A'_i , $B1'_i$, $B2'_i$ e C_i os teores, respectivamente, das frações A', B1', B2' e C', dos carboidratos nos ingredientes. Os montantes dessas frações serão:

$$CA'_i = x_i A'_i ;$$

$$CB1'_i = x_i B1'_i ;$$

$$CB2'_i = x_i B2'_i ;$$

$$CC'_i = x_i C'_i .$$

Dessa forma, a quantidade total em carboidratos, CT_i , corresponde à soma das quatro parcelas anteriores:

$$CT_i = CA'_i + CB1'_i + CB2'_i + CC'_i .$$

O desdobramento dos carboidratos em seus componentes fibrosos (CF_i) e não fibrosos (CNF_i) fica assim definido:

$$CF_i = CB2'_i + CC'_i ;$$

$$CNF_i = CA'_i + CB1'_i .$$

1.3 . Quantidades dos demais nutrientes nos ingredientes dietéticos

Sendo GB_i o teor em gordura bruta, o montante de gordura bruta G_i constante em cada ingrediente será dado por:

$$G_i = x_i GB_i .$$

De igual forma, a partir dos teores em cinzas (MM_i), fibra (F_i ; resíduo insolúvel em solução detergente neutra) e ($Cinzas_i$), fibra ($Fibra_i$) e fibra fisicamente efetiva (FE_i) contidas nos ingredientes serão:

$$Cinzas_i = x_i MM_i,$$

$$Fibra_i = x_i F_i,$$

$$FE_i = fef_i Fibra_i.$$

O termo $fef_i \in [0,1]$ é o fator de efetividade física da fibra, atributo do alimento. Este fator, basicamente, representa a fração da quantidade de fibra necessária à manutenção de condições favoráveis de crescimento microbiano no rúmen. Existe uma ampla variabilidade deste fator, por exemplo, a farinha de mandioca possui $fef_i = 0$ ($fef_{i \min}$), enquanto que o pasto colhido pelo animal possui $fef_i = 1$ ($fef_{i \max}$).

1.4 . Disponibilidade ruminal das frações nitrogenadas

A digestibilidade é dependente do tempo que o alimento permanece no trato digestivo para hidrólise e, conseqüentemente, tanto as taxas de degradação como as de passagem estão relacionados com o consumo voluntário de alimentos (Ellis, 1978; Mertens, 1987; Van Soest, 1994). A digestibilidade parcial no rúmen determina a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos residentes no órgão. A seguir será apresentada a forma de cálculo para a disponibilidade ruminal em compostos nitrogenados a partir de cada ingrediente dietético. Os compostos nitrogenados não protéicos são prontamente disponíveis para assimilação microbiana, devido a sua solubilidade nos alimentos. Portanto, o montante disponível em fração A, DRA, é dado por:

$$DRA_i = PA_i.$$

A disponibilidade ruminal em proteína verdadeira é dada pelas seguintes expressões:

$$DRB1_i = PB1_i kd1_i / (kd1_i + 1/TMR_i),$$

$$DRB2_i = PB2_i kd2_i / (kd2_i + 1/TMR_i),$$

em que $kd1_i$ e $kd2_i$, expressas em unidades recíprocas do tempo (h^{-1}), são as respectivas taxas de degradação das frações B1 e B2 do i-ésimo ingrediente dietético. As taxas de degradação das frações foram estimadas por meio de ensaios biológicos *in vitro*.

O termo TMR_i (h) corresponde ao tempo médio de retenção das partículas fibrosas do alimento no rúmen-retículo, conforme a expressão a seguir:

$$TMR_i = N / (kr_i + 1/ke_i),$$

em que N pode ser 2 ou 3, dependendo do ingrediente alimentar e representa a ordem de dependência do tempo para o fenômeno de transferência das partículas fibrosas retidas nas camadas de digesta fibrosa flutuantes do rúmen para as camadas ventrais e dispersas na fase líquida.

A disponibilidade ruminal de peptídeos, i $DRPEP_i$, é dada pela soma

$$DRPEP_i = DRB1_i + DRB2_i.$$

1.5 .Escape de compostos nitrogenados do rúmen-retículo

Devido à competição entre os processos de degradação e passagem, parte do aporte de nutrientes escapa da digestão ruminal. Assim, o escape de frações protéicas pode ser assim calculado:

$$ERB1_i = PB1_i - DRB1_i,$$

$$ERB2_i = PB2_i - DRB2_i.$$

No caso dos compostos nitrogenados indigeríveis, o escape é igual ao consumo:

$$EC_i = PC_i.$$

1.6 . Disponibilidade ruminal em carboidratos

A disponibilidade ruminal de carboidratos advém da solubilização de açúcares simples e da degradação de polímeros complexos existentes na matéria alimentar consumida. Portanto, a competição dos processos de degradação e passagem sobre as frações A' , $B1'$, $B2'$ e C' , produz:

$$DRA'_i = CA'_i kd1'_i / (kd1'_i + kl),$$

$$DRB1'_i = CB1'_i kd2'_i / (kd2'_i + 1/TMR_i),$$

$$DRB2'_i = CB2'_i kd3'_i / (kd3'_i + 1/TMR_i).$$

Os termos $kd1'$, $kd2'$ e $kd3'$ são as respectivas taxas de degradação das frações A' , $B1'$ e $B2'$. O termo kl representa a taxa de diluição de líquidos do rúmen, calculada da seguinte forma:

$$kl = 3 \sum_{i=1}^m x_i / \sum_{i=1}^m (1/TMR_i).$$

Nas situações em que o tempo médio de retenção de líquidos (TMRL, h) for conhecido, i.e. quando uma determinada categoria animal é alimentada segundo um plano nutricional específico, o parâmetro pode ser estimado da seguinte forma:

$$kl = 1/TMRL$$

1.7 .Escape de carboidratos do rúmen-retículo

Analogamente à massa de compostos nitrogenados consumida, ocorrem os escapes de carboidratos oriundos da matéria alimentar, calculados da seguinte forma:

$$ERA'_i = CA'_i - DRA'_i ;$$

$$ERB1'_i = CB1'_i - DRB1'_i ;$$

$$ERB2'_i = CB2'_i - DRB2'_i .$$

Os escape da fração indigestível de carboidratos é calculado da seguinte forma:

$$ERC'_i = CC'_i .$$

1.8 . Crescimento microbiano no rúmen-retículo

A variável YG1 é o rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam carboidratos fibrosos. É uma constante medida experimentalmente e expressa em massa de células (g) por massa (g) de carboidrato fibroso degradado no rúmen:

$$YG1 = 0,4$$

A variável YG2 é o rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos não fibrosos dos ingredientes, medida em g de massa de células por g de carboidratos não fibrosos e calculado através de duas cláusulas:

$$YG2 = \begin{cases} 0,4 \Leftrightarrow \left(\sum_{i=1}^m Fibrq_i / \sum_{i=1}^m x_i \right) \geq 0,2; \\ 0,4 \left[1 - 0,025 \left(20 - 100 \sum_{i=1}^m Fibrq_i / \sum_{i=1}^m x_i \right) \right], \text{ em caso contrário.} \end{cases}$$

O rendimento, então, pode ser calculado a partir das variáveis Y1i, Y2i e Y3i, respectivamente os rendimentos esperados para os microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos (fração B2') e não fibrosos (frações A' e B1').

$$Y1_i = kd3'_i YG1 / (km1 YG1 + kd3'_i)$$

$$Y2_i = kd1'_i YG2 / (km2 YG2 + kd1'_i)$$

$$Y3_i = kd2'_i YG2 / (km2 YG2 + kd2'_i)$$

Os termos $km1$ e $km2$ são as taxas constantes de manutenção dos microrganismos, medidas experimentalmente:

$$km1 = 0,05$$

$$km2 = 0,15$$

A razão de disponibilidade de peptídeos em relação à quantidade de carboidratos não fibrosos disponível no rúmen interfere no rendimento microbiano e precisa ser ajustada. Esta razão ($RATIO_i$) é uma grandeza adimensional assim calculada:

$$RATIO_i = DRPEP_i / (ORPEP_i + DRA'_i + DRB1'_i)$$

O acréscimo percentual no rendimento microbiano (IMP_i) devido à $RATIO_i$ pode ser assim calculado:

$$IMP_i = \exp \{ 0,404 \ln (100 RATIO_i) \} - 1,942$$

$$\text{para } 0 \leq IMP_i \leq 18$$

A biomassa de células microbianas ruminais produzidas a partir da disponibilidade ruminal em carboidratos fibrosos equivale a:

$$BACTCF_i = Y1_i DRB2'_i$$

Uma vez que os rendimentos são corrigidos em função do IMP_i ,

$$Y2'_i = Y2_i (1 + 0,01 IMP_i)$$

$$Y3'_i = Y3_i (1 + 0,01 IMP_i)$$

a biomassa de células produzidas a partir do montante em carboidratos não fibrosos disponíveis no rúmen-retículo corresponde a

$$BACTCNF_i = Y2'_i DRA'_i + Y3'_i DRB1'_i$$

E a biomassa de células microbianas produzidas diariamente a partir do total em carboidratos digestíveis é de:

$$BACT_i = BACTCF_i + BACTCNF_i$$

1.9 . Balanço de nitrogênio amoniacal ruminal

As quantidades de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos fibrosos e não fibrosos, respectivamente NBACTCF_i e NBACTCNF_i, correspondem a 10% de suas biomassas, ou seja,

$$NBACTCF_i = 0,1BACTCF_i, \text{ e}$$

$$NBACTCNF_i = 0,1BACTCNF_i.$$

A massa de peptídeos assimilados pelos microrganismos, PEPUP_i, corresponde a:

$$PEPUP_i = DRPEP_i \left[\frac{kup NBACTCNF_i}{kup NBACTCNF + kl} \right]$$

em que o termo *kup* equivale à taxa de utilização de peptídeos pelas CNFbacteria (Figura 1), i.e., 0,07 g peptídeo/g biomassa microbiana/h.

O nitrogênio amoniacal contido nos peptídeos assimilados pelas CNFbacteria, NPEPUP_i, equívale a:

$$NPEPUP_i = PEPUP_i / 6,25$$

A retenção de nitrogênio pelas CNFbacteria é calculada por meio das seguintes cláusulas:

$$RNPEPUP_i = \begin{cases} NPEPUP_i, & \text{se } NBACTNF_i \geq NPEPUP_i / 0,66; \\ 0,66 NBACTNF_i, & \text{se } NBACTNF_i < NPEPUP_i / 0,66. \end{cases}$$

O montante em nitrogênio amoniacal retido pelas bactérias que utilizam os carboidratos fibrosos e não fibrosos, NAMBACTCF_i e NAMBACTCNF_i, correspondem, respectivamente, a:

$$NAMBACTCF_i = NBACTCF_i,$$

$$NAMBACTCNF_i = NBACTCNF_i - RNPEPUP_i.$$

Considere *X* uma variável que represente o teor em proteína bruta da dieta, calculado pela seguinte expressão:

$$X = 100 \sum_{i=1}^m \left(PA_i + PB1_i + PB2_i + PC_i \right) / \sum_{i=1}^m x_i$$

em que $X \in [3,18; 56,00]$.

Conforme mencionado anteriormente, a conservação de nitrogênio em animais ruminantes decorre da mobilização de reservas corporais drenadas para os órgãos metabolizantes onde ocorre produção de uréia, a qual é parcialmente excretada para o meio e reciclada via saliva ou por difusão direta do plasma para o interior do rúmen. Esta reciclagem endógena (*Y*) pode ser empiricamente estimada com base na seguinte equação:

$$Y = 121,7 - 12,01X + 0,325 X^2$$

Uma vez que o total de proteína verdadeira degradável no rúmen, PDR, é expresso por

$$PDR = \sum_{i=1}^m (ORB1_i + DRB2_i)$$

finalmente, o balanço de nitrogênio amoniacal ruminal, BNAR, pode ser acessado com base na seguinte expressão:

$$BNAR = \left[\left(0,01YPB + PDR + \sum_{i=1}^m PA_i \right) / 6,25 \right] - \left(\sum_{i=1}^m RNPEPUP_i + \sum_{i=1}^m NAMBACTCNF_i + \sum_{i=1}^m NAMBACTCF_i \right)$$

1.10 . Absorção intestinal dos nutrientes

As variáveis ERPBM_i, ERPCM_i, ERANM_i, ERCTM_i, ERGM_i e ERCinzasM_i representam, respectivamente, os escapes ruminais de proteína bruta, proteínas ligadas à parede celular, ácidos nucleicos, carboidratos totais, gordura e cinzas, todas associadas à biomassa microbiana. Essas variáveis são frações da BACT_i, calculadas por:

$$ERPBM_i = 0,6 \times 0,625 \times BACT_i$$

$$ERPCM_i = 0,25 \times 0,625 \times BACT_i$$

$$ERANM_i = 0,15 \times 0,625 \times BACT_i$$

$$ERCTM_i = 0,21 \times BACT_i$$

$$ERGM_i = 0,12 \times BACT_i$$

$$ERCinzasM_i = 0,044 \times BACT_i$$

1.11 . Absorção intestinal dos nutrientes

Após ocorrer o processamento do alimento ingerido e retido no rúmen, tanto a biomassa microbiana produzida sobre os substratos degradados, quanto a matéria alimentar que escapou ao processo de degradação, bem como os ácidos graxos voláteis produzidos, tornam-se substratos absorvíveis em locais específicos do trato gastrointestinal dos ruminantes. Desta forma, pode-se estimar a absorção intestinal dos nutrientes com base nas equações a seguir.

As digestibilidades intestinais das frações protéicas verdadeiras de origem alimentar que escapam à degradação ruminal equivalem a:

$$DIB1_i = ERB1_i,$$

$$DIB2_i = 0,80ERB1_i.$$

Assim, a digestibilidade intestinal da proteína de origem alimentar, DIP_{Ai} , é a soma das duas parcelas anteriores:

$$DIP_{Ai} = DIB1_i + DIB2_i.$$

As digestibilidades intestinais tanto da proteína verdadeira como dos ácidos nucléicos microbianos, respectivamente DIP_{VMi} e $DIAN_{Mi}$, são exatamente iguais a seus respectivos escapes ruminais microbianos, ou seja,

$$DIP_{VM_i} = ERPBM_i;$$

$$DIAN_{M_i} = ERANM_i.$$

Portanto, a digestibilidade intestinal total de proteína verdadeira, DIP_i , corresponde a:

$$DIP_i = DIP_{Ai} + DIP_{VM_i} + DIAN_{M_i}.$$

Presume-se que a quantidade de ácidos graxos voláteis produzida, AGV_i , corresponda ao total de carboidratos digeridos no rúmen (Sniffen et al., 1992) e aos carboidratos fibrosos digeridos no intestino grosso, ou seja,

$$AGV_i = DRA'_i + DRB1'_i + DRB2'_i + 0,2ERB2'_i.$$

Por seu turno, o total de carboidratos não fibrosos digeridos no intestino é igual a $DICA_i$:

$$DICA_i = ERA'_i + cdiERB1'_i,$$

em que o coeficiente cdi corresponde às digestibilidades intestinais da fração $B1'$ para diferentes ingredientes alimentares.

A digestibilidade intestinal dos carboidratos microbianos, DIC_{Mi} , é calculada sobre o escape de carboidratos microbianos,

$$DIC_{M_i} = 0,95ERCTM_i.$$

Portanto, a digestibilidade total de carboidratos no trato gastrintestinal dos animais, $DITC_i$, equivale à soma dos três termos anteriores:

$$DITC_i = AGV_i + DICA_i + DIC_{M_i}.$$

Analogamente aos carboidratos, as digestibilidades das gorduras de origem alimentar e microbiana são calculadas sobre o escape ruminal de gorduras.

$$ERGB_i = G_i,$$

e a digestibilidade intestinal da gordura e da gordura microbiana, respectivamente DIGAi e DIGMi, são dadas por:

$$DIGA_i = ERGB_i,$$

$$DIGM_i = 0,95ERGM_i.$$

Portanto, a digestibilidade total da gordura no trato gastrintestinal é dada pela soma dos termos anteriores, ou seja,

$$DIG_i = DIGA_i + DIGM_i.$$

1.12 . Perdas fecais

O balanço de matéria correspondente ao que é absorvido pelos animais depende das perdas fecais, tanto de origem alimentar (ingredientes da dieta) como da biomassa microbiana que escapam às ações digestoras do trato gastrintestinal dos ruminantes. Assim, as perdas fecais, a começarem pelas frações protéicas B2 e C, respectivamente PFB2i e PFCi, são dadas por:

$$PFB2_i = (-0,80) ERB2_i,$$

$$PFC_i = ERC_i.$$

As perdas fecais de proteínas, PFPAi, são iguais à soma dos dois termos anteriores, ou seja,

$$PFPA_i = PFB2_i + PFC_i.$$

Analogamente, as perdas fecais em carboidratos das frações B1', B2' e C', respectivamente PFB1'i', PFB2'i' e PFC'i', são expressas por:

$$PFB1'_i = (-cd_i) ERB1'_i,$$

$$PFB2'_i = (-0,2) ERB2'_i,$$

$$PFC'_i = ERC'_i.$$

As perdas fecais do total de carboidratos, PFCTAi, correspondem à soma das frações anteriores, i.e.,

$$PFCTA_i = PFB1'_i + PFB2'_i + PFC'_i.$$

As perdas fecais em cinzas são dadas por:

$$PFCinzas_i = Cinzas_i$$

As perdas fecais de parede celular microbiana, PFPCM_i, são dadas por:

$$PFPCM_i = ERPPCM_i$$

Por seu turno, as perdas fecais relativas ao total de proteína microbiana, PFPM_i, são exatamente iguais ao termo anterior:

$$PFPM_i = PFPCM_i$$

As perdas fecais dos nutrientes oriundos da biomassa microbiana sintetizada no rúmen, respectivamente carboidratos (PFCM_i), gordura (PFGM_i) e cinzas (PFCinzasM_i), são dadas por:

$$PFCM_i = (-0,95) ERCTM_i$$

$$PFGM_i = (-0,95) ERGM_i$$

$$PFCinzasM_i = ERCinzasM_i$$

O total de perdas de biomassa microbiana nas fezes equivale à soma das parcelas anteriores:

$$PFBACT_i = PFPM_i + PFCM_i + PFCinzasM_i$$

As perdas fecais endógenas correspondem às secreções digestivas elaboradas pelo trato gastrointestinal, bem como às descamações do epitélio do trato que decorrem do processo de renovação dessa estrutura. Tais perdas são compostas por proteínas (PFEP_i), gorduras (PFEG_i) e cinzas (PFECinzas_i):

$$PFEP_i = 0,0387 PB_i$$

$$PFEG_i = 0,017 G_i$$

$$PFECinzas_i = 0,0119 Cinzas_i$$

Então, o total de perdas fecais em proteínas (TPFPROT_i), carboidratos (TPFCT_i), gorduras (TPFG_i) e cinzas (TPFCinzas_i) são expressos segundo as seguintes equações:

$$TPFPROT_i = PFPA_i + PFPM_i + PFEP_i$$

$$TPFCT_i = PFCTA_i + PFCM_i$$

$$TPFG_i = PFEG_i + PFGM_i$$

$$TPFCinzas_i = PFCinzas_i + PFCinzasM_i + PFECinzas_i$$

Desta forma, pode-se estimar a quantidade de matéria seca indigerível, MS_{li}, dada pela soma das quatro parcelas que a compõem:

$$MSI_i = TPFPROT_i + TPFCT_i + TPF G_i + TPFCinzas_i$$

1.13 . Total em nutrientes digestíveis

Uma vez calculadas as perdas fecais, pode-se então efetuar o cálculo do total em nutrientes aparentemente digestíveis (TNAD_i):

$$TNAD_i = PB_i - TPFPROT_i + CT_i - TPFCT_i + 2,25 G_i - TPF G_i$$

E o seu teor, expresso entre colchetes, na matéria alimentar equivale a:

$$[TNAD] = \frac{\sum_{i=1}^m TNAD_i}{\sum_{i=1}^m x_i}$$

1.14 . Energia metabolizável da dieta

O montante em energia digerível consumida diariamente pelo animal, CED, expresso em MJ d⁻¹, pode ser estimado com base na seguinte fórmula:

$$CED = 0,001 \times 4,409 \times 4,184 \sum_{i=1}^m TNAD_i$$

A energia metabolizável corresponde ao calor de combustão do total de compostos orgânicos oxidáveis pelo corpo do animal. O montante consumido diariamente pelo animal, CEM, pode ser estimado da seguinte forma:

$$CEM = 0,82CED$$

1.15 . Consumo em proteína metabolizável

A proteína metabolizável (PM_i) corresponde ao total em ácidos aminados disponíveis à circulação sistêmica após absorção, o que exige correção para o total de ácidos nucléicos absorvidos. Esta quantidade equivale a:

$$PM_i = DIP_i - DIANM_i$$

Já o teor em proteína metabolizável da ração a ser otimizada, expresso entre colchetes, será igual a:

$$[PM] = \frac{\sum_{i=1}^m PM_i}{\sum_{i=1}^m x_i}$$

1.16 . Eficiência de utilização da energia metabolizável

As eficiência total de utilização da energia metabolizável para os processos de manutenção e retenção de energia no corpo animal, ambos em função do consumo de

energia metabolizável é expressa em $\text{MJ.Kg}^{-3/4}\text{d}^{-1}$. Apesar de uma constante não representar apropriadamente uma variável teórica como a eficiência de utilização, esta estimativa parece apropriada para um $250 \leq CEM/M^{3/4} \leq 1800 \text{ MJ kg}^{-3/4} \text{ d}^{-1}$ (Luo et al., 2004):

$$kmg = 0,691$$

O teor em energia líquida total da dieta, EL_t , é dado pela seguinte razão:

$$\mathbf{E}L_t \equiv EL_t / \sum_{i=1}^m x_i$$

Os valores de energia das forrageiras também foram estimados pelas equações propostas pelo NRC (2001) considerando a classe do alimento descrita como volumoso. No cálculo do NDT, considerou-se o nível de alimentação (L) de 1 x (uma vez) o nível de manutenção, estimado pela equação:

INDEX

em que:

P_DBEBP [] para volumosos;

~~PB10B41D~~ para concentrados;

CNF, 88].

EXERCÍCIO 1: $0.75 =$ constante de

proporcionalidade.

$$AG \vdash E E1.$$

O valor sete reduzido da equação refere-se ao NDT metabólico fecal.

A PB_D refere-se à proteína verdadeiramente digestível; CNF_D, aos carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis; FDN_D, à FDN verdadeiramente digestível; AG_D, aos ácidos graxos verdadeiramente digestíveis; e LDA, à lignina em detergente ácido. Os valores de NDT foram convertidos em energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) utilizando-se as equações sugeridas pelo NRC (2001), em que os valores estimados de NDT foram obtidos com base no calor de combustão dos componentes nutricionais utilizados e da fração metabólica.

2. Exigências nutricionais para cabritos em crescimento

Adotou-se as recomendações de exigências em energia e proteína metabolizável para caprinos do NRC (2007). Para determinação das necessidades de energia metabolizável de manutenção utilizou a recomendação para caprinos selecionados para produção de leite de 139 kcal/PV^{0,75} ou 580 kJ/Kg PV^{0,75}. A exigência de energia metabolizável para produção foi de 5,52 kcal/g GMD ou 23,1 kJ/g GMD.

A seguinte soma foi utilizada para cálculo da exigência em proteína metabolizável para manutenção:

$$PM_m = PPMF + PPUE + 0,2g / kgPV^{0,75}$$

em que, PPMF(Perda de proteína metabolizável fecal) = 2,67% CMS; PPUE(Perda de proteína urinária endógena) = 1,031g/kg PV^{0,75}.

O valor de 0,290g/g de GMD foi adotado como exigência em proteína metabolizável para ganho.

3. Determinação das exigências nutricionais em minerais

As equações para a determinação das exigências de minerais utilizadas foram originalmente publicadas no NRC (2007).

As exigências para manutenção dos nutrientes cálcio (Ca_m) , fósforo (P_m) , magnésio (Mg_m), potássio (K_m) dão dadas em gramas/dia, respectivamente, pelas seguintes equações:

$$Ca_m = 0,623CMS + 0,228 / 0,40$$

$$P_m = 0,081 + 0,88CMS$$

$$Mg_m = 0,0035 PC \geq 0,20$$

$$K_m = 0,6CMS + 0,05 PC \geq 0,90$$

As exigências para manutenção dos nutrientes manganês (Mn_m) e zinco (Zn_m) são dadas em miligramas/dia, pelas seguintes equações:

$$Mn_m = 0,002 PC / 0,0075$$

$$Zn_m = 0,045 PC / 0,3$$

em que, CMS corresponde ao consumo de matéria seca (Kg.dia); PC refere-se ao peso corporal (Kg).

As exigências para o ganho em massa corporal, em cálcio (Ca_g) , fósforo (P_g) e magnésio (Mg_g), potássio (K_g) são dadas em gramas/dia, respectivamente, pelas seguintes fórmulas:

$$Ca_g = 9,4GMD$$

$$P_g = 6,5GMD$$

$$Mg_g = 0,4GMD / 0,20$$

$$K_g = 2,4GMD / 0,90$$

As exigências para o ganho em massa corporal dos nutrientes, manganês (Mn_g), e zinco (Zn_g) são dadas em miligramas/dia

$$Mn_m = 0,7GMD / 0,0075$$

$$Zn_m = 0,025GMD / 0,3$$

em que, GMD refere-se ao ganho médio diário (Kg/dia).

As exigências para manutenção e ganho em massa corporal dos nutrientes, ferro (Fe_m), cobre (Cu_m), são dadas em miligramas/dia

$$Fe_m = 95CMS$$

$$Cu_m = 25CMS$$

4. Determinação da massa ruminal de fibra e da capacidade máxima de material fibroso no rúmen

A fibra ou fibra insolúvel corresponde ao montante de compostos parcial e lentamente digeríveis que ocupam espaço no trato gastrintestinal dos ruminantes. O efeito de repleção da fibra, nada mais é do que o preenchimento dos espaços ruminais vazios por este nutriente, o que pode restringir o consumo diário de energia líquida, pois são inversamente relacionados (Van Soest, 1994).

O efeito de repleção da fibra no rúmen, é uma função das propriedades cinéticas de degradação e passagem do material fibroso no órgão que possibilita a estimação da massa de fibra no rúmen que causa repleção ruminal pela seguinte equação:

$$\sum_j \left\{ F_{fdn_j} \left[A_j \left\{ v \sum_{i=1}^{N_j} \left(\frac{1}{\lambda_{rj} + k_{dj}} \right)^{i-1} + \frac{\lambda_{rj}^{N_j}}{\lambda_{rj} + k_{dj}} \right\} + U_j \left(\frac{1}{\lambda_{rj} + 1/k_{ej}} \right) \right] \right\} \leq CA$$

em que, F_{fdn} = Taxa de consumo de FDN (g.t⁻¹); A_j = Fração potencialmente digestível da FDN contida no rúmen-retículo (RR) para ser digerida pelos microrganismos ruminais (g.g⁻¹ FDN); λ_r = Taxa de transferência das partículas do *pool* não-escapável para o *pool* escapável (t⁻¹); K_d = Taxa de degradação da FDN; N = ordem de dependência do tempo para transferir partículas do *pool* não escapável para o pool escapável; K_e = Taxa de

escape das partículas do *pool* escapável (t^{-1}); U = Fração indegradável da FDN contida no RR ($g \cdot g^{-1}$ FDN); CA = capacidade animal máxima de armazenar fibra no rúmen (Vieira et al., 2008b).

A estratégia de se escalonar a massa ruminal de fibra presente no animal em relação à massa corporal foi adotada para se reduzir o efeito do tamanho do animal sobre os seus comportamentos, permitindo desta maneira que comparações possam ser feitas independentes da massa ou tamanho animal. Segundo Brody (1945) e Kleiber (1975), a função potencial de escalonamento geral pode ser descrita como:

$$Y = \alpha X^{\beta} + e$$

em que o valor de α é uma constante escalonada expressa como uma unidade de variável dependente por unidade de massa elevada a uma potência b . Os valores das variáveis observadas foram substituídas por Y , sendo os valores escalonados obtidos pelo quociente Y / X^{β} . De acordo com Vieira et al. (2008b) o termo do erro (e) é sujeito a uma pressuposição comum ou universal de normalidade e independência, com média zero e variância σ^2 .

3. Resultados e Discussão

As exigências em proteína e energia metabolizável dos caprinos em crescimento, com peso corporal de 20 kg, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Exigências em energia metabolizável e proteína metabolizável

Item	Exigência
Energia metabolizável manutenção (MJ/dia)	5,48
Energia metabolizável produção (MJ/dia)	3,46
Energia metabolizável total (MJ/dia)	8,95
Proteína metabolizável manutenção (g/dia)	29,03
Proteína metabolizável produção (g/dia)	43,5
Proteína metabolizável total (g/dia)	72,53

NRC (2007)

O balanço entre demanda e suprimento de minerais oriundo do consumo das forrageiras estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5. Verificou-se que o capim-tifton 85 e a amoreira supriram as exigências da maioria dos minerais, com exceção do enxofre e do cobre.

Tabela 3 – Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de capim-tifton 85

Mineral	Suprimento (g/dia)	Demanda* (g/dia)	Balanço (g/dia)
Cálcio (g/dia)	4,26	2,52	1,74
Fósforo (g/dia)	6,78	1,82	4,96
Magnésio (g/dia)	2,00	0,65	1,35
Potássio (g/dia)	13,48	3,77	9,71
Enxofre (g/dia)	1,56	1,91	-0,35
Ferro (mg/dia)	233,07	82,65	150,42
Manganês (mg/dia)	265,33	19,33	246,00
Cobre (mg/dia)	9,00	21,75	-12,75
Zinco (mg/dia)	28,03	3,01	25,02

*NRC

Tabela 4 – Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de amoreira

Mineral	Suprimento (g/dia)	Demanda* (g/dia)	Balanço (g/dia)
Cálcio (g/dia)	15,01	2,44	12,57
Fósforo (g/dia)	2,67	1,71	0,96
Magnésio (g/dia)	2,08	0,65	1,43
Potássio (g/dia)	10,69	3,44	7,25
Enxofre (g/dia)	1,26	1,63	-0,37
Ferro (mg/dia)	76,53	70,58	5,95
Manganês (mg/dia)	79,50	19,33	60,17
Cobre (mg/dia)	5,20	18,57	-13,37
Zinco (mg/dia)	18,57	3,01	15,56

*NRC

A leucena não supriu as demandas de fósforo, enxofre, ferro e cobre (Tabela 5). Diante disso, mostrou ser o alimento com maior desequilíbrio em minerais. No entanto, as deficiências apresentadas pelas forrageiras podem ser perfeitamente supridas com o fornecimento de sal mineral aos animais.

Tabela 5 – Balanço entre demanda e suprimento de minerais para o consumo de leucena

Mineral	Suprimento (g/dia)	Demanda* (g/dia)	Balanço (g/dia)
Cálcio (g/dia)	6.29	2,44	3.85
Fósforo (g/dia)	1.68	1,70	-0.02
Magnésio (g/dia)	1.02	0,65	0.37
Potássio (g/dia)	8.78	3,41	5.37
Enxofre (g/dia)	1.10	1,61	-0.51
Ferro (mg/dia)	65.88	69,54	-3.66
Manganês (mg/dia)	27.82	19,33	8.49
Cobre (mg/dia)	5.12	18,3	-13.18
Zinco (mg/dia)	12.44	3,01	9.43

*NRC

Dentre vários fatores, o consumo de matéria seca pode ser influenciado pela demanda total de energia metabolizável ou pelo limite fisiológico causado pela repleção ruminal (Mertens et al., 1994). Quando fornecidas dietas de alta qualidade, o animal consome para atingir sua demanda energética e o consumo é limitado pelo potencial genético do animal para utilizar a energia absorvida. Entretanto, quando fornecidas dietas de baixa qualidade, o animal consome alimento até atingir a capacidade do

rúmen-retículo (Mertens , 1994). Portanto, para realização das simulações, partiu-se do princípio de que o consumo de matéria seca é influenciado por esses dois fatores.

Para as forrageiras capim-tifton 85, amoreira e leucena, os consumos de matéria seca que causaram repleção ruminal foram 0,870; 3,200 e 2,150 kg/dia, respectivamente (Tabela 6). Porém, não seria possível que os animais ingerissem tão grande quantidade de amoreira (16% PV) e leucena (10,75% PV). Dessa forma, devido à baixa concentração de compostos fibrosos e a boa qualidade da fibra nesses materiais, o consumo foi limitado pela demanda energética e não pela repleção ruminal.

Tabela 6 – Consumo de matéria seca que causa repleção ruminal no rúmen-retículo de caprinos em crescimento

Forrageira	Quantidade	
	kg/dia	% PV*
Tifton-85	0,870	4,35
Amoreira	3,200	16,00
Leucena	2,150	10,75

*%PV= percentagem em relação ao peso vivo

Por outro lado, quando se considera a demanda energética como reguladora do consumo, as quantidades de matéria seca consumida pelo animal foram 0,871; 0,744 e 0,732 kg/dia para o capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 – Consumo de matéria seca que atende demanda energética de caprinos em crescimento

Forrageira	Quantidade	
	kg/dia	% PV*
Tifton-85	0,871	4,35
Amoreira	0,744	3,72
Leucena	0,732	3,66

*%PV= percentagem em relação ao peso vivo

Para o capim-tifton 85, o consumo de 0,870 kg/dia seria, concomitantemente, o ponto máximo que causaria repleção ruminal e que também atenderia a demanda energética do animal. Nesse sentido, para realização das simulações de desempenho de caprinos ingerindo capim-tifton 85, adotou-se essa quantidade de matéria seca ingerida. Tal quantidade estaria disponibilizando 8,94 MJ de energia metabolizável para o animal

(Tabela 8). Sendo a demanda em energia metabolizável para manutenção de 5,48 MJ/dia (Tabela 2), sobrariam 3,46 MJ/dia para ganho. Dessa forma, considerando a exigência de energia metabolizável para ganho de 0,0231 MJ/g GMD, a energia disponível seria suficiente para promover desempenho de 150 g/dia.

A ingestão dessa quantidade de capim-tifton 85 disponibilizaria 64,95 g de proteína metabolizável (Tabela 8). Como a exigência em proteína metabolizável para manutenção desse animal é de 29,03 g/dia (Tabela 2), restariam 35,92 g/dia para a produção. Assim, considerando a exigência em proteína metabolizável para ganho de 0,290g/g GMD, a proteína disponível ao animal possibilitaria desempenho de 124 g/dia. Portanto, o fator que limitaria o desempenho, seria a proteína metabolizável e não a energia. De fato, esse teor de proteína metabolizável possibilitaria apenas 82,7% do potencial de desempenho.

Tabela 8 - Energia e proteína metabolizável disponível para caprinos em crescimento ingerindo forrageiras distintas

Forrageira	E met (MJ/dia)*	Ptn met (g/dia)**
Tifton-85	8,95	64,95
Amoreira	8,94	51,40
Leucena	8,94	80,50

*E met= energia metabolizável; ** Ptn met= proteína metabolizável

Nas simulações realizadas com a amoreira, considerou-se o consumo diário por animal de 0,744 kg de matéria seca, que atendeu a demanda energética do animal. Esse consumo disponibilizaria 8,94 MJ de energia metabolizável (Tabela 8). Utilizando os mesmos valores de exigência em energia metabolizável para manutenção e ganho, sobrariam 3,46 MJ/dia para ganho. Dessa forma, a energia disponível seria suficiente para promover desempenho de 150 g/dia.

Entretanto, esse consumo de amoreira disponibilizaria 51,40 g de proteína metabolizável (Tabela 8). Considerando a exigência em proteína metabolizável para manutenção de 29,03g/dia, restariam 22,37 g/dia para a produção. Dessa forma, a proteína metabolizável disponível ao animal possibilitaria ganho de 77 g/dia. Assim, o fator que limitou o desempenho foi a proteína metabolizável e não a energia. Realmente, o desempenho possível de ser obtido com a proteína metabolizável correspondeu a 51,33% do potencial de desempenho que o animal poderia expressar, quando se considera os teores de energia metabolizável.

Portanto, observa-se que, apesar dos elevados teores de proteína bruta no capim-tifton 85 (22,9%) e na amoreira (26,1%), grande parte dos compostos nitrogenados são perdidos pela falta de sincronismo entre degradação dos carboidratos e de proteínas. Aproximadamente uma a quatro horas após a alimentação, ocorre um pico de produção de N-NH_3 , devido o NNP e a proteína rapidamente degradável, presente no conteúdo celular, serem rapidamente solubilizados no rúmen. Porém, de nada adianta esse pico de produção N-NH_3 , se a energia não está prontamente disponível para síntese microbiana. De fato, isso pode ser verificado pela grande quantidade de NNP e proteína solúvel no capim-tifton 85 e na amoreira (Tabela 1), com elevada taxa de degradação (0,257 e 0,3036 h^{-1}). Contudo, no capim-tifton 85, a fração B_2 , apesar de maior taxa de degradação (0,084 h^{-1}) do que em outras gramíneas, ainda é muito lenta, para disponibilizar energia rapidamente no ambiente ruminal. Já no caso da amoreira, a degradação da fibra é extremamente alta (0,274 h^{-1}), porém, a da fração B_1 , presente em maior proporção, é menor (0,07 h^{-1}).

O consumo exclusivo do capim-tifton 85 ou amoreira não resulta no desempenho máximo do animal. Nesse contexto, para otimizar o desempenho animal, pode-se adotar algumas estratégias de suplementação, como o uso de concentrados, ricos em proteína não degradável, para suprir a exigência em proteína metabolizável do animal, ou a adição fontes de carboidratos de rápida disponibilidade, para que as frações nitrogenadas de elevada degradação possam ser melhor aproveitadas.

Os ingredientes que podem ser usados na formulação de suplementos como fonte de carboidratos de rápida degradação, pois apresentam taxas de degradação das frações A e B_1 elevadas, são o milho (3,0 e 0,35 h^{-1}), a polpa cítrica (3,0 e 0,40 h^{-1}), o farelo de trigo (3,0 e 0,70 h^{-1}) e a casca de soja (2,75 e 0,4 h^{-1}) (NRC, 2001). Além disso, alimentos ricos em proteína não degradável no rúmen, como a soja em grão tostada, o farelo de glúten de milho e a torta de algodão, também podem ser adicionados com o objetivo aumentar a quantidade de proteína disponível para a digestão e absorção no intestino delegado.

Para simulação dos animais consumindo leucena, considerou-se o consumo diário de 0,732 kg de matéria seca, que atendeu a demanda energética do animal. Esse consumo disponibilizaria 8,94 MJ de energia metabolizável (Tabela 8). Utilizando a exigência em energia metabolizável para manutenção de 5,48 MJ/dia, sobriariam 3,46 MJ/dia para ganho. Dessa forma, a energia disponível seria suficiente para promover desempenho de 150 g/dia.

Entretanto, esse consumo de leucena disponibilizaria 80,5 g de proteína metabolizável (Tabela 8). Considerando a exigência em proteína metabolizável para manutenção de 29,03g/dia, restariam 51,47 g/dia para a produção. Dessa forma, a proteína metabolizável disponível ao animal possibilitaria ganho de 177 g/dia. Portanto, diferentemente do capim-tifton 85 e da amoreira, o fator que limitou o desempenho dos animais alimentados com leucena foi a energia metabolizável e não a proteína.

Possivelmente, a fração B₁ da proteína, que possui taxa de degradação de 0,1005 h⁻¹, presente em grande proporção na leucena, apresentou boa sincronização com as frações de carboidratos A e B₁, com taxa de disponibilização de 0,1808 h⁻¹. Dessa forma, a proteína solúvel em conjunto com a energia disponível, foi utilizada para síntese de proteína microbiana, que juntamente com a proteína que escapou da degradação ruminal conseguiu suprir a exigência em proteína metabolizável de manutenção e produção do animal. De fato, tal argumento pode ser confirmado, pela maior produção de massa microbiana proveniente dos carboidratos totais da leucena (Tabela 9).

Para caprinos alimentados exclusivamente com capim-tifton 85, amoreira e leucena, com objetivo de atender a demanda energética, os valores de BNAR (balanço de nitrogênio amoniacal no rúmen) foram 8,6; 10 e 9,5 confirmando que houve excesso de N-NH₃ no ambiente ruminal. Neste caso, a amônia liberada no rúmen será absorvida pela parede ruminal e, quando a capacidade de reciclagem do nitrogênio na forma de uréia for superada, esse excedente será eliminado através da urina, carregando com ele quatro ATPs por mol de uréia, gastos na sua síntese. Valores de BNAR iguais a zero, indicam perfeita sincronização entre carboidratos e proteína, de maneira que, todo o nitrogênio disponível no rúmen seria utilizado, sem ocasionar perdas.

Apesar da amoreira e da leucena terem apresentado elevadas taxas de degradação dos carboidratos e proteínas, como discutidos anteriormente, verifica-se pelo BNAR que houve excesso de nitrogênio no rúmen, constatando que, mesmo com a presença de carboidratos fibrosos e não fibrosos de rápida disponibilização, o suprimento de energia não foi suficiente para utilizar todo o nitrogênio no rúmen, de forma que essas forrageiras não apresentaram perfeita sincronização entre os carboidratos e proteínas. Porém, a leucena foi capaz de suprir a demanda em proteína metabolizável do animal, pelo melhor sincronismo de degradação dos compostos nitrogenados com a energia.

As produções de massa microbiana proveniente da alimentação com capim-tifton 85, amoreira e leucena estão apresentadas na Tabela 9. As percentagens da biomassa de células microbianas ruminais, produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos fibrosos, foram 61,07; 38,92 e 28,48%, respectivamente, para o capim-

tifton 85, amoreira e leucena. Com relação à percentagem da biomassa microbiana oriunda dos carboidratos não fibrosos, os valores estimados foram de 35,57; 64,42% e 71,51% para o capim-tifton 85, amoreira e leucena, respectivamente. Diante do exposto, o capim-tifton 85 apresentou maior produção de biomassa microbiana oriunda dos CF, enquanto, que a amoreira e leucena, possuíram maior biomassa microbiana oriunda dos CNF.

A leucena apresentou a maior produção de massa microbiana oriunda dos carboidratos não fibrosos e totais, o que novamente pode ser explicado pela maior degradação da proteína solúvel (fração B₁), acompanhada da elevada disponibilidade dos CNF (fração A+B₁), o que possibilitou melhor aproveitamento dos nutrientes pelos microrganismos ruminais.

Tabela 9 – Produção de massa microbiana estimadas para caprinos em crescimento ingerindo forrageiras distintas

Forrageira	BACTCF (g/dia)	BACTCNF (g/dia)	BACT (g/dia)
Tifton-85	64,11	40,86	104,97
Amoreira	29,00	52,51	81,51
Leucena	33,69	84,60	118,29

BACTCF=Biomassa de células microbianas produzidas a partir dos carboidratos fibrosos; BACTCNF=Biomassa de células microbianas produzidas a partir dos carboidratos não fibrosos; BACT= biomassa de células microbianas produzidas diariamente a partir do total de carboidratos.

Os valores de NDT, obtidos de acordo com o modelo nutricional semelhante ao CNCPS e adotados no presente trabalho, foram superiores aos valores calculados segundo o modelo proposto por Weiss et al. (1992) (Tabela 10). Possivelmente, o método de Weiss subestimou os valores de NDT das forrageiras devido à estimativa de digestibilidade da fibra, baseada na concentração de lignina, ter sido muito baixa. A baixa digestibilidade da fibra indica que os compostos fibrosos da amoreira e leucena, apesar de menor concentração, são de pior qualidade. Porém, os dados de degradação da FDN obtidos no presente trabalho, que foram discutidos no capítulo I, não confirmaram tal hipótese. Nesse sentido, é possível que a lignina da amoreira e da leucena não apresentem efeito negativo sobre a fração da fibra disponível.

No cálculo de NDT do modelo nutricional semelhante ao CNCPS, a disponibilidade, o escape ruminal das frações de proteínas e de carboidratos, o crescimento microbiano, além das perdas fecais e microbianas foram levados em consideração. Por outro lado, o cálculo de NDT proposto por Weiss fornece estimativa

da energia disponível nos alimentos por meio de informações obtidas em análises laboratoriais, que são aplicadas em equações.

Tabela 10 – Valores de nutriente digestíveis totais (NDT) estimados pelos diferentes modelos

NDT	Forrageira		
	Tifton-85	Amoreira	Leucena
Weiss	52,13	65,93	62,01
Modelo*	67,96	79,49	80,77

* modelo nutricional semelhante ao CNCPS

A partir de ensaios de digestibilidade dos nutrientes (proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e extrato não nitrogenado), Dorigan (2004) estimou o teor de nutrientes digestíveis totais dos fenos de folha de amoreira consumidos por caprinos e obteve valores de 76,88 e 73,93% para os cultivares FM 86 e FM SM, com 45 dias de idade. Esses valores de NDT são muito parecidos com os obtidos pelo modelo nutricional semelhante ao CNCPS.

A princípio, todas as simulações foram realizadas com base na quantidade de matéria seca que atendeu a demanda energética do animal. No entanto, a amoreira e a leucena possuem compostos que limitam o consumo.

A amoreira apresenta compostos antinutricionais, ainda não bem esclarecidos, que podem limitar seu consumo pelos caprinos quando oferecida de forma exclusiva. Com o objetivo de avaliar a quantidade ingerida de diferentes variedades de amoreira por caprinos, Sabino Jr. (1996) verificou consumos de 564,3; 548,8 e 639,1 g/dia, equivalentes a 2,89; 2,72 e 2,99% PV para as variedades Calabresa, FM 3/3 e FM Shima miura, respectivamente.

A leucena possui, como princípio tóxico, a mimosina, que pode causar alterações nos animais que a ingerem em excesso (Pupo, 1979). Esta intoxicação só ocorre quando a leucena é ministrada como alimentação exclusiva ou em excesso na dieta animal (Jones, 1979; Ramos et al. 1997). Desta forma, a toxidez pode ser evitada usando-se a leucena em pastejo controlado por cerca de duas horas ao dia, ou não permitindo que seu fornecimento ultrapasse 30% do total ingerido pelo animal/MS/dia (Sá, 1996). Neto & Velloso (1986), alimentaram ovinos exclusivamente com feno de leucena e observaram acentuada queda de lã dez dias após o início do consumo e deslanamento total por volta do décimo quarto dia. Entretanto, quando os mesmos animais foram

alimentados com uma dieta contendo feno de leucena (30%) associado a feno de Capim-de-Rhodes (70%), não foram observados sinais de intoxicação.

Dessa forma, para realização das simulações posteriores, adotou-se para amoreira a quantidade de matéria seca ingerida de 0,580 kg/dia, que foi baseado no consumo médio obtido do trabalho de Sabino Jr. (1996). Por outro lado, para simulações dos animais ingerindo leucena, foi utilizado o consumo de 0,220 kg/dia, que corresponde a 30% do consumo de matéria seca que atendeu a demanda energética (0,732 kg/dia).

O consumo de 0,580 kg/dia de amoreira disponibilizou 6,97 MJ de energia metabolizável para o animal (Tabela 8). Sendo a demanda em energia metabolizável para manutenção de 5,48 MJ/dia (Tabela 2), sobriam 1,49 MJ/dia para ganho. Dessa forma, considerando a exigência de energia metabolizável para ganho de 0,0231 MJ/g GMD, a energia disponível seria suficiente para promover desempenho de 64,4 g/dia.

No entanto, a ingestão dessa quantidade de amoreira disponibilizaria 40,07 g de proteína metabolizável (Tabela 8). Como a exigência em proteína metabolizável desse animal é de 29,03 g/dia (Tabela 2), restariam 11,04 g/dia para a produção. Assim, considerando a exigência em proteína metabolizável para ganho de 0,290g/g GMD, a proteína disponível ao animal possibilitaria desempenho de 38 g/dia. Portanto, o fator que limitaria o desempenho, seria proteína metabolizável e não energia.

A quantidade ingerida de 0,220 kg/dia de leucena forneceu 2,69 MJ de energia metabolizável e 24,19 g de proteína metabolizável para o animal, que não conseguiria suprir a demanda em energia metabolizável para manutenção de 5,48 MJ/dia e a exigência em proteína metabolizável para manutenção de 29,03 g/dia (Tabela 2). Apesar do baixo consumo de leucena, a quantidade de proteína disponível ao animal é bastante alta, faltando apenas 4,84 g de proteína metabolizável para suprir a demanda de manutenção.

Diante do exposto, verifica-se que as deficiências em nutrientes apresentadas pela amoreira e leucena, fornecidas em menores quantidades, podem ser perfeitamente supridas, pelo consumo de outros alimentos, como forrageiras em maiores proporções na dieta e também pelo fornecimento de concentrados.

4. Conclusões

A limitação de consumo das forrageiras estudadas é determinada pela demanda energética dos animais;

O uso das forrageiras como única fonte de alimento para os caprinos limita o máximo desempenho na fase de crescimento

5. Referência Bibliográfica

- AFRC - AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. CAB International, Cambridge University Press, Cambridge, 159 p., 1993.
- AFRC. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report n.10. **The nutrition of goats**. Nutrition Abstracts and Reviews (series B), v.67, n.11, p.765-830, 1997.
- BARBOSA, P.F.; ASSIS, A.G. Modelos de simulação como auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de leite. In: BARBOSA, P.F.; ASSIS, A.G.; COSTA, M.A.B. (Eds.) **Workshop sobre modelagem e simulação de sistemas de produção animal: estado da arte e perspectivas**. São Carlos: Embrapa, 1999. p.1-28.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth with special reference to the efficiency complex in domestic animals**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945. 1023 p.
- DORIGAN, C.J.; RESENDE, K.T.; BASAGLIA, R. et al. Digestibilidade *in vivo* dos nutrientes de cultivares de amoreira (*Morus alba* L.) em caprinos. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.539-544, 2004.
- ELLIS, W.C. Determinants of grazed forage intake and digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.61, n.12, p.1828-1840, 1978.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. III. Cattle requirements and diets adequacy. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3578-3596, 1992.
- FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O.; TYLUTKI, T. P. et al. The Cornell net carbohydrate and protein model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 112, n. 1/4, p. 29-78, 2004.
- GENRO, T. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; MEDEIROS, S. R. Ingestão de matéria seca por animais em pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande, MT, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004.
- JONES, R. J. **El valor de Leucaena leucocephala como pienso para rumiantes en los trópicos**. Revista Mundial de Zootecnia, Itália, 31: 13-23.1979.
- KLEIBER, M. **The fire of life. An introduction to animal energetics**. 2. ed. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1975. 453p.
- MOE, P.W.; FLATT, W.P.; TYRREL, H.F. Net energy value of feeds for lactation. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.945, 1972.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.6, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY, G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society Agronomy, 1994. p.450-493.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: 1996. 244p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. Washington: National Academic Press, 2001, 387p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. 2007, 362p.
- NETO, R.F.; VELLOSO, L. **Leucaena Leucocephala (Lam) de Wit em rações para ovinos**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.15, n.5, p.415- 424.1986.
- O'CONNOR, J.D., SNIFFEN, C.J., FOX, D.G. et al. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. **Journal of Animal Science**, 71(5):1298-1311.

- PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras**. Campinas-SP.ICEA Gráfica e Editora LTDA.1979.343p.
- RAMOS, G.M.; ITALIANO, E.C.; NASCIMENTO, M. do S.C.B. et al. **Recomendações sobre o cultivo e uso da leucena na alimentação animal**. Teresina, PI: EMBRAPA-CPAMN, 1997.16p.(EMBRAPA-CPAMN. Circular Técnica, 16).
- RUSSEL, J.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Rumen fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992.
- SÁ, J.P.G. **Leucena: utilização na alimentação animal**. Londrina-PR. IAPAR, 1997.21p.(IAPAR, Circular, 96).
- SABINO JUNIOR, R, RESENDE, K. T., CARVALHO, F. F. R. Composição química e digestibilidade *in vivo*, em caprinos, de três cultivares de amoreira (*Morus alba L.*). In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 34., 1996, **Anais...** Juiz de Fora, 1996, p..
- SEBRAE/FAEMG. "Relatório de Pesquisa : **Diagnóstico da Produção de Leite no Estado de Minas Geras**" Belo Horizonte. 1996. Mimeo.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3562-3577. 1992.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Ithaca, New York: *Cornell*, 1994. 476p.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, v.255 , p.357-368. 2008b.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R. A theoretically-based model predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

Conclusões Gerais

As forrageiras não apresentam perfeita sincronização entre as frações de carboidratos e proteína com taxas de degradação semelhantes causando perdas de nitrogênio no rúmen.

A limitação de consumo das forrageiras estudadas é determinada pela demanda energética dos animais;

O uso das forrageiras como única fonte de alimento para os caprinos limita o máximo desempenho na fase de crescimento

TÉCNICAS LABORATORIAIS

I) Análise de Amido

1.Método:

Extração por solvente (Etanol 80%), reações enzimáticas (alpha-amilase e amiloglicosidase) e determinação colorimétrica

2.Referência:

HALL, M.B. HOOVER, W.H., JENNINGS, J.P., WEBSTER, T.K.M. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, 79:2079-2086, 1999.

3.Aplicação:

Este procedimento é usado para extração dos carboidratos solúveis em etanol 80% e posterior determinação de amido no resíduo.

4.Equipamentos:

Erlenmeyers 250 ml

Beakers 100 ml –

Balões 100ml

Balões 50ml

Tubos – 22 x 2

Funil e papel de filtro (Fibra de vidro, Whatman GFA);

Pipeta (1- 5 mL)

Micropipeta (50 – 100 uL)

Banho Maria

Agitador magnético

Vortex

Mesa de agitação orbital

pHmetro

Espectrofotômetro

5.Reagentes:

Ethanol 95%

Água destilada

Acetona

Acetato de sódio triidratado

Ácido clorídrico concentrado (HCl)

Hidróxido de sódio diluído (NaOH)

Enzimas: α -amilase (A-3306)

Amiloglucosidase (A 3514), ambas com código da Sigma

Kit para leitura de glicose (Glicose enzimática - Biodiagnóstica)

6. Preparação dos reagentes:

ETHANOL : ÁGUA 80:20 (ETHANOL 80%)

1. Meça 840 ml de etanol 95% e 160 ml de água destilada
2. Ponha em um frasco e misture vigorosamente. O volume fornece cerca de 990 ml de etanol 80%

TAMPÃO ACETATO

1. Pesar 13,61 g de acetato de sódio triidratado em um beacker de 100ml
2. Adicionar 40 ml de água destilada, dissolver e agitar em agitador magnético
3. Checar o pH
4. Adicionar HCl concentrado para ajustar o pH 4,5 – 4,6. Se chegar próximo adicionar HCL diluído. Se ficar muito ácido, adicionar NaOH diluído
5. Quando chegar ao pH adequado, transferir para balão de 1 litro, lavando beaker repetidamente, a ajustar volume para 1 litro com H₂Od.

7. Procedimentos:

1. Pesar amostras em erlenmeyers de 250 ml para extração

Forragem (amostras com pouco amido) – 0,600g

Milho/MDPS/amido – 0,300g

2. Adicionar etanol 80% - 200ml/1g de amostra
3. Extrair sob agitação durante 4h –mesa de agitação orbital.
4. Filtrar em papel de filtro quantitativo sob gravidade (fibra de vidro – Whatman GFA)
5. Enxaguar com 2X com etanol 80% e 2X com acetona

6. Transferir o resíduo para beaker de 100ml com H₂O destilada.
7. Levar beaker para agitador magnético (barra). Agitar, parar, colocar 100 microl. de alfa-amilase (A 3306) e agitar novamente. Cobrir com papel alumínio.
8. Levar ao banho maria 92-93oC por 1 h
9. Preparar solução STOCK e curva padrão (0 – 20 – 40 – 60 – 80 – 100)
10. Retirar e deixar esfriar durante 15min à temperatura ambiente
11. Filtrar em papel de filtro quantitativo em balões de 100ml (gravidade) e completar o volume para 100ml
12. Agitar manualmente e retirar alíquota de 1ml transferindo em seguida para balões de 50ml
13. Adicionar 8 mL de tampão acetato (pH 4,5) e 50 microlitros da enzima amiloglucosidase (A 3514). Cobrir com papel alumínio.
14. Levar ao banho maria 60°C durante 30 minutos, agitando a cada 10minutos (Deve-se tomar bastante cuidado com os balões nesta fase pois ficam muito leves e podem tombar no banho maria. Colocar em suporte)
15. Retirar do banho maria e completar o volume para 50 ml
16. Agitar bem cada balão e retirar 100microl adicionado em tubos de ensaio (Recomenda-se três tubos para cada amostra)
17. Adicionar 2ml do reagente glicose oxidase peroxidase (GLICOSE ENZIMÁTICA - BIODIAGNÓSTICA) e agitar em VORTEX
18. Levar ao banho maria a 37-38°C durante 15 min.
19. Retirar, deixar esfriar VORTEX novamente e ler absorbância a 505nm.

8.Cálculos:

1. Fazer curva padrão, gerar equação (Excel),
2. Fazer uma média dos valores de absorbância e jogar na equação gerada, com isso obtem-se glicose (microg/mL)
3. Fazer correção para a diluição, ou seja multiplicar pelo volume dos balões utilizados na diluição (100 e 50 mL)

4. Transformar microgramas em gramas (dividir por 10^6)
5. Transformar para Amido (g), multiplicar glicose (g) por 0,9
6. Transformar Amido (g), para Amido (%MS)

$$\text{Amido (\%MS)} = (\text{Amido (g)} / \text{ASA(g)} * \% \text{ASE}) * 100$$

II) Análise de Fibra solúvel em detergente neutro (FSDN)

1.Método: Extração por solvente (Etanol 80%)

2.Referência:

HALL, M.B. HOOVER, W.H., JENNINGS, J.P., WEBSTER, T.K.M. A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, 79:2079-2086, 1999.

3.Aplicação:

Este procedimento é usado para extração dos carboidratos solúveis em etanol 80% e posterior determinação de FSDN no resíduo

4. Equipamentos:

Mesa de agitação orbital

Bomba de vácuo

Cadinho de vidro poroso (porosidade grosseira)

Papel de filtro Whatman 54 ou 541

Mufla, para análise de cinzas e matéria orgânica

Equipamento de digestão, destilação e titulação para análise de proteína

5. Reagentes:

Ethanol 95%

Água destilada

Acetona

Reagentes necessários para análise de proteína (ácido sulfúrico; hidróxido de sódio; ácido clorídrico)

6. Preparação dos reagentes:

ETHANOL : ÁGUA 80:20 (ETHANOL 80%)

1. Meça 840 ml de etanol 95% e 160 ml de água destilada
2. Ponha em um frasco e misture vigorosamente. O volume fornece cerca de 990 ml de

etanol 80%

7.Procedimentos:

1. Pesar amostras em erlenmeyers de 250 ml para extração (0,6 g para forragem)
2. Adicionar 120 mL etanol 80% - (200ml/1g de amostra)
3. Extrair sob agitação durante 4h –mesa de agitação orbital
4. Filtre sob vácuo
 - Em cadinho poroso para determinação de Matéria Orgânica (MO)
 - Em filtro de papel Whatman 54 ou 541 para determinação de Proteína bruta (PB)
5. Enxaguar com 2X com etanol 80% e 2X com acetona
6. Processe as amostras para as análises subseqüentes de MO, PB
 - Para MO, leve os cadinhos para estufa 105° por uma noite, pesar o cadinho + resíduo. Queime a amostra de acordo com AOAC e proceda a determinação do peso do cadinho + cinzas
 - Para PB, levar o papel + resíduo para digestão (tubos de macro), destilação e titulação. Permitir que o resíduo coletado em papel de filtro seque totalmente antes da determinação do N- Kjeldahl. A acetona pode gerar artificialmente altos valores de nitrogênio.

7. Cálculos:

A FSDN é calculada como:

$FSDN = (RIEMO - RIEPB) - (FDN_{cp}) - AMIDO$, onde

1. RIEMO: resíduo de matéria orgânica insolúvel em etanol;

RIE MO % da MS da amostra original:

$$[((\text{peso do cadinho seco} + \text{resíduo}) - (\text{peso do cadinho seco} + \text{cinzas})) / (\text{ASA (g)} \times \text{MS\%})] \times 100$$

2. RIEPB: resíduo de proteína insolúvel em etanol.

RIE PB % da matéria seca da amostra:

$$[(\text{Nitrogênio no RIE, g}) \times 6,25] / (\text{ASA (g)} \times \text{MS\%}) \times 100$$

III) Análise de açúcares

1.Método: Extração (oxalato de amônia) dos carboidratos solúveis e determinação colorimétrica

2.Referência:

DERIAZ, R.E. Routine analysis of carbohydrate and lignin in herbage. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, 12:150-160, 1961.

3.Aplicação:

Este procedimento é usado para medir concentração de açúcares (glicose) nos alimentos

4.Equipamentos:

Autoclave

Papel de filtro quantitativo

Pipeta (2 mL)

Proveta

Banho Maria

Espectrofotômetro

5. Reagentes:

Solução de Oxalato de amônio 0,5%

Solução de Antrona

6. Preparação dos reagentes:

OXALATO DE AMÔNIO (0,5%)

Pesar 0,5g de oxalato de amônio e dissolver em 100 mL de água destilada

SOLUÇÃO DE ANTRONA (1 litro de solução)

Em frasco de erlenmeyer de 1000 mL adicionar 330 mL de água destilada e cautelosamente 760 mL de ácido sulfúrico

Deixar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 mL e completar o volume, de preferência, no dia seguinte, com a solução fria

Adicionar 1g de tiouréia, agitando até dissolver

Adicionar 1g de antrona e proceder de maneira idêntica

Recomenda-se dissolver a tiouréia e a antrona, em béquers separados, usando pequenas quantidades da solução anteriormente preparada (água+ácido sulfúrico)

7. Procedimentos:

1. Pesar 0,25g até 1,0g de amostra (ASA), se forragem pesar até 1,0g
2. Colocar 70 mL de solução de Oxalato de amônia 0,5% e autoclavar o material por 2 horas
3. Filtrar em papel de filtro em balões de 100 mL completar o restante com água destilada
4. Retirar uma alíquota de 2 mL e adicionar 10 mL de solução antrona em tubos grandes
5. Deixar em banho-maria (90°C) por 20 minutos
6. Fazer um branco (somente antrona) e padrões de 1% e 0,5%
7. Fazer leitura da absorbância a 625 nm

IV) Degradação in vitro da FDN

1. Método: Incubação *in vitro* do alimento

2. Referência:

GOERING, H.K, VAN SOEST, P.J. Forage fiber analyses. **Agricultural Research Service**, Agriculture Handbook n° 379, 1975.

3. Aplicação:

Este procedimento é usado para medir degradação da Fibra Insolúvel em Detergente Neutro (FDN)

4. Equipamentos:

Frascos de penicilina (100 mL) com tampa de borracha

Lacres de alumínio

Mesa de agitação orbital

Sala de incubação (39°C), pode ser substituído por Banho Maria

Fonte de Gás CO₂

Provetas (10 e 40 mL)

Pipeta (2 mL)

Agitador magnético

Vidrarias para preparo das soluções: Enlarmeyers (2 – 4 litros/ depende da quantidade de solução); Béquers (50 – 100 mL)

5. Reagentes:

Trypticase

Sulfeto de sódio nonahidratado ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)

Cisteína – HCl

Resazurina (0,1% p/v)

Solução Tampão

Solução macromineral e micromineral

6. Preparação dos reagentes:

SOLUÇÃO TAMPÃO (1 litro de solução)

1. Pesar 4g de Bicarbonato de Amônio (NH_4CO_3) em béquer de 100 mL
2. Pesar 35 g de Bicarbonato de sódio (Na_2HCO_3) em béquer de 100 mL
3. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
4. Transferir para balão volumétrico (1 litro), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

SOLUÇÃO MACROMINERAL (1 LITRO)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:
 - 5,7g de Fosfato de sódio dibásico anidro (Na_2HPO_4)
 - 6,2 g de Dihidrogenofosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4)
 - 0,6 g de Sulfato de Magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
2. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
3. Transferir para balão volumétrico (1 litro), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

SOLUÇÃO MICROMINERAL (100 mL)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:

- 13,2 g de Cloreto de Cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 10 g de Cloreto de Manganês tetrahidratado ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 1 g de Cloreto de Cobalto hexahidratado ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 8 g de Cloreto Férrico (FeCl_3)

2. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição

3. Transferir para balão volumétrico (100 mL), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

RESAZURINA 0,1%

Pesar 0,1 g de resazurina e diluir em 100 mL de água destilada

HIDRÓXIDO DE SÓDIO (1N)

Pesar 0,4 g de hidróxido de sódio e diluir em 100 mL de água

SOLUÇÃO DE MEIO (800 mL)

* Preparar a solução no dia anterior à incubação

1. Pesar 2g de Trypticase em béquer de 100 mL (diluir em água destilada e agitar com agitador magnético para completa diluição)

2. Adicionar em béquer de 1 litro:

- 0,1 mL solução micromineral
- 200 mL de solução macromineral
- 200 mL de solução tampão
- 1 mL de resazurina (0,1%)
- 400 mL de água destilada

3. Agitar todos reagentes com agitador magnético, verificar a coloração lilás da solução

4. Manter a solução pronta em sala de incubação a 39°C aspergindo CO_2 por uma noite, para mudança da coloração lilás para incolor, indicando que a solução se encontra reduzida

SOLUÇÃO REDUTORA (100 mL)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:
 - 625 mg de Cisteína hidrocloreídrica (HCl)
 - 625 mg de Sulfeto de sódio nonahidratado ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$)
2. Agitar os reagentes com agitador magnético para completa diluição
3. Adicionar 4 mL de hidróxido de sódio (1N) e 95 mL de água destilada em balão volumétrico de 100 mL

7. Procedimentos

1. Pesar 0,5 g de amostra seca ao ar (ASA) em frascos de penicilina de 100 mL (Fazer 4 repetições em cada tempo)
2. Na sala de incubação a 39°C adicionar 40 mL de solução e 2 mL de solução redutora nos frascos
3. Aspergir CO_2 nas paredes do frasco, tampar com a rolha de borracha
4. Coletar líquido de rúmen do animal com garrafa térmica e filtrar em tripla camada de gaze
5. No laboratório, aspergir CO_2 na garrafa térmica e se necessário filtrar novamente o líquido em camada de gaze
6. Verificar a mudança de coloração rósea para incolor da solução de meio + solução redutora nos frascos
7. Adicionar 10 mL de líquido de rúmen aos frascos
8. Aspergir CO_2 nas paredes do frasco, tampar com a rolha de borracha e vedar com lacre de alumínio
9. Levar para mesa de agitação orbital
10. Retirar os frascos nos tempos 0, 1, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 72 e 96 horas
11. Proceder análise de FDN

V) Produção de gases

1. Método: Incubação *in vitro* do alimento e medição dos gases oriundos da fermentação

2. Referência:

GOERING, H.K, VAN SOEST, P.J. Forage fiber analyses. **Agricultural Research Service**, Agriculture Handbook nº 379, 1975.

MALAFAIA, P.A.M., VALADARES FILHO, S.C., VIEIRA, R.A.M. 1999. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non-automated system to measure gas production. **Lvstck. Prod. Sci.** , 58:65-73.

3.Aplicação:

Medir taxa de degradação das frações A e B₁ dos carboidratos

4.Equipamentos:

Aparelho com medidor de pressão (manômetro 14psi) acoplado a seringa de vidro (20 mL) para medição de volume

Frascos de penicilina (100 mL) com tampa de borracha

Lacres de alumínio

Mesa de agitação orbital

Sala de incubação (39°C), pode ser substituído por Banho Maria

Fonte de Gás CO₂

Provetas (10 e 40 mL)

Pipeta (2 mL)

Vidrarias para preparo das soluções: Enlarmeyers (2 – 4 litros/ depender da quantidade de solução); Béquers (50 – 100 mL)

Agitador magnético

5. Reagentes:

Trypticase

Sulfeto de sódio nonahidratado (Na₂S.9H₂O)

Cisteína – HCl

Resazurina (0,1% p/v)

Solução Tampão

Solução macromineral e micromineral

6. Preparação dos reagentes:

SOLUÇÃO TAMPÃO (1 litro de solução)

1. Pesar 4g de Bicarbonato de Amônio (NH₄CO₃) em béquer de 100 mL

2. Pesar 35 g de Bicarbonato de sódio (Na_2HCO_3) em béquer de 100 mL
3. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
4. Transferir para balão volumétrico (1 litro), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

SOLUÇÃO MACROMINERAL (1 LITRO)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:
 - 5,7g de Fosfato de sódio dibásico anidro (Na_2HPO_4)
 - 6,2 g de Dihidrogenofosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4)
 - 0,6 g de Sulfato de Magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
2. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
3. Transferir para balão volumétrico (1 litro), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

SOLUÇÃO MICROMINERAL (100 mL)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:
 - 13,2 g de Cloreto de Cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
 - 10 g de Cloreto de Manganês tetrahidratado ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
 - 1 g de Cloreto de Cobalto hexahidratado ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
 - 8 g de Cloreto Férrico (FeCl_3)
2. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
3. Transferir para balão volumétrico (100 mL), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada

RESAZURINA 0,1%

Pesar 0,1 g de resazurina e diluir em 100 mL de água destilada

HIDRÓXIDO DE SÓDIO (1N)

Pesar 0,4 g de hidróxido de sódio e diluir em 100 mL de água

SOLUÇÃO DE MEIO (800 mL)

* Preparar a solução no dia anterior à incubação

1. Pesar 2g de Trypticase em béquer de 100 mL (diluir em água destilada e agitar com agitador magnético para completa diluição)
2. Adicionar em béquer de 1 litro:
 - 0,1 mL solução micromineral
 - 200 mL de solução macromineral
 - 200 mL de solução tampão
 - 1 mL de resazurina (0,1%)
 - 400 mL de água destilada
3. Agitar todos reagentes com agitador magnético, verificar a coloração lilás da solução
4. Na sala de incubação a 39°C aspergir CO₂ na solução por uma noite, para mudança da coloração lilás para incolor, indicando que a solução se encontra reduzida

SOLUÇÃO REDUTORA (100 mL)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL:
 - 625 mg de Cisteína hidrocloreídrica (HCl)
 - 625 mg de Sulfeto de sódio nonahidratado (Na₂S.9H₂O)
2. Agitar os reagentes com agitador magnético para completa diluição
3. Adicionar 4 mL de hidróxido de sódio (1N) e 95 mL de água destilada em balão volumétrico de 100 mL

7. Procedimentos

1. Pesar 0,5 g de amostra seca ao ar (ASA) em frascos de penicilina de 100 mL (Fazer 4 repetições em cada tempo)
2. Na sala de incubação a 39°C adicionar 40 mL de solução e 2 mL de solução redutora nos frascos
3. Aspergir CO₂ nas paredes do frasco, tampar com a rolha de borracha
4. Coletar líquido de rúmen do animal com garrafa térmica e filtrar em tripla camada de gaze

5. No laboratório, aspergir CO₂ na garrafa térmica e se necessário filtrar novamente o líquido em camada de gaze
6. Verificar a mudança de coloração rósea para incolor da solução de meio + solução redutora nos frascos
7. Adicionar 10 mL de líquido de rúmen aos frascos
8. Aspergir CO₂ nas paredes do frasco, tampar com a rolha de borracha e vedar com lacre de alumínio
9. Levar para mesa de agitação orbital
10. Fazer leitura dos gases (pressão e volume) nos tempos 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 18; 24; 30; 36; 40; 48; 56; 68; 72 e 96 horas

VI) Degradação *in vitro* da proteína

1.Método: Incubação *in vitro* do alimento

2.Referência:

KRISHNAMOORTHY, U., SNIFFEN, C.J., STERN, M.D. et al. 1983. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen - undegraded nitrogen content of feedstuffs. **Brit. J. Nut.**, 50:555-568

3.Aplicação:

Este procedimento é usado para medir degradação das frações de proteína (A, B₁ e B₂)

4.Equipamentos:

Erlenmeyers 125 ml

pHmetro

Mesa de agitação orbital

Sala incubadora a 39°C

Provetas (10 e 40 mL)

Piseta

Papel-filtro quantitativo livre de proteína (Whatman # 54 ou 541)

Tubos de macro

Aparelhos para digestão, destilação e titulação da proteína

5. Reagentes:

Tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Fosfato de sódio ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Protease comercial bacteriana de *Streptomyces griseus* (número catalográfico P-5147, Tipo XIV, Sigma Chemical)

Ácido tricloroacético a 10% e 1% (TCA), estocar em geladeira

6. Preparação dos reagentes:

TCA 10%

Diluir 100g de TCA em 1 litro de água destilada

TCA 1%

Diluir 10g de TCA em 1 litro de água destilada

SOLUÇÃO TAMPÃO (1 litro)

1. Pesar separadamente em béquers de 100 mL
 - 13,17g de tetraborato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
 - 7,6g de fosfato de sódio monobásico ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
2. Adicionar água destilada aos reagentes e agitar com agitador magnético para completa diluição
3. Transferir para balão volumétrico (1 litro), lavando os béquers repetidamente e completar com água destilada
4. Medir o pH ajustando-o para 8,0 com ácido fosfórico e hidróxido de sódio

SOLUÇÃO ENZIMÁTICA

1. A solução enzimática deve ser preparada para conter 33 unidades mL^{-1} , pois quando adicionados 10 ml dessa solução a atividade enzimática passará para 6,6 unidades mL^{-1}
2. Diluir o pó enzimático na solução tampão descrita anteriormente.
3. Para calcular a massa de pó enzimático comercial a ser usado, basta tomar a atividade final desejada para a solução (33 unidades/mL), dividi-la pela atividade enzimática do produto (ver rótulo) e multiplicar o quociente pelo volume total de solução enzimática a ser empregado (10 mL) multiplicando pelo número de repetições a serem realizadas

7. Procedimentos

1. Pesar 0,5 g de amostra em frascos erlenmeyers (125 mL)
 2. Adicionar 40 mL de solução-tampão, manter os frascos em mesa de agitação orbital, dentro de sala incubadora a 39°C, por uma hora, para hidratação e estabilização da temperatura.
 3. Adicionar 10 ml de solução enzimática
 4. Retirar os frascos nos tempos 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36 e 48 horas. Um frasco que contenha apenas a solução-tampão e a solução enzimática deve ser usado como branco
 5. Após remover os frascos adicionar com uma piseta aproximadamente 20 ml de ácido tricloroacético a 10% (TCA) para cessar a atividade enzimática.
 6. Transferir quantitativamente, o conteúdo de cada frasco para um funil com papel-filtro quantitativo de filtragem rápida, utilizando aproximadamente 200 mL de ácido tricloroacético a 1% (TCA) como veículo.
 7. Proceder determinação do nitrogênio pelo método de macro-Kjeldahl no resíduo + papel filtro, lembrando de fazer a determinação do branco para as devidas correções
- * Recomenda-se para que a digestão seja mais rápida colocar o papel-filtro em estufa (65°C) por 1 hora para secagem do mesmo

VII) Fracionamento da Proteína

1.Método: Tratamento da amostra com ácido tricloroacético, solução tampão borato-fosfato.

Análise de PIDN (proteína insolúvel em detergente neutro) e PIDA (proteína insolúvel em detergente ácido)

2.Referência:

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

3. Aplicação:

Este procedimento é usado para medir as frações A, B₁, B₂ e C da proteína

4. Equipamentos:

Erlenmeyers 125 ml

pHmetro

Bomba de vácuo

Provetas (10 e 50 mL)

Piseta

Papel-filtro quantitativo livre de proteína (Whatman # 54 ou 541)

Tubos de macro

Aparelhos para digestão, destilação e titulação da proteína

5. Reagentes

Ácido tricloroacético (TCA)

Solução de Detergente neutro (FDN)

Solução de Detergente ácido (FDA)

6. Preparo dos reagentes

TCA 10%

Diluir 100g de TCA em 1 litro de água destilada

TCA 1%

Diluir 10g de TCA em 1 litro de água destilada

7. Procedimentos

I) Fração A:

1. Pesar 0,5g de amostra (ASA) em erlenmeyers de 125 mL
2. Adicionar 50 mL de água destilada, deixando em descanso por 30 minutos
3. Adicionar 10 mL de solução de TCA 10%, deixando descansar por 20-30 minutos
4. Filtrar em papel de filtro Whatman #54 ou 541, sob vácuo moderado
5. Lavar o resíduo com 50 mL com TCA 1%
6. Proceder a determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldahl no resíduo + papel filtro, lembrando de fazer a determinação do branco para as devidas correções

* Recomenda-se para que a digestão seja mais rápida colocar o papel-filtro em estufa (65°C) por 1 hora para secagem do mesmo

A fração A ou NNP, é calculada da seguinte maneira:

$$A (\%N_{\text{total}}) = N_{\text{total}} - N_1(\text{teor de nitrogênio insolúvel em TCA}) / N_{\text{total}}$$

II) Fração B₁:

A fração B₁, proteína de degradação mais rápida que a B₂, foi determinada pela diferença 100 - (A + B₂ + C)

III) Fração B₂

1. Análise de Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA)
2. Proceder determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldahl no resíduo, obtendo NIDN (Nitrogênio insolúvel em detergente neutro) e NIDA (nitrogênio insolúvel em detergente ácido)

A fração B₁ é calculada da seguinte maneira:

$$B_2 (\%N_{\text{total}}) = NIDN - NIDA / N_{\text{total}}$$

IV) Fração C

1. Análise de Fibra em Detergente Ácido (FDA)
2. Proceder determinação do nitrogênio pelo método de Kjeldahl, obtendo NIDA (nitrogênio insolúvel em detergente ácido)

$$C (\% N_{\text{total}}) = NIDA / N_{\text{total}}$$