

**DIGESTIBILIDADE INTESTINAL *IN VITRO* DA  
PROTEÍNA DE CO-PRODUTOS DA INDÚSTRIA  
DO BIODIESEL**

**GUSTAVO SOUZA COUTO**

**2009**

**GUSTAVO SOUZA COUTO**

**DIGESTIBILIDADE INTESTINAL *IN VITRO* DA  
PROTEÍNA DE CO-PRODUTOS DA INDÚSTRIA DO  
BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Nutrição de Ruminantes, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. José Cleto da Silva Filho

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Couto, Gustavo Souza.

Digestibilidade intestinal *in vitro* da proteína de co-produtos da indústria do biodiesel / Gustavo Souza Couto. – Lavras : UFLA, 2009.

63 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: José Cleto da Silva Filho.

Bibliografia.

1. Digestão em três estágios. 2. Resíduos agroindustriais. 3. Tremoço. 4. Oleaginosas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.0852

– 628.4

**GUSTAVO SOUZA COUTO**

**DIGESTIBILIDADE INTESTINAL *IN VITRO* DA PROTEÍNA DE  
CO-PRODUTOS DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Nutrição de Ruminantes, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2009;

Prof. Márcio Machado Ladeira

DZO/UFLA

Prof<sup>ª</sup>. Angelita Duarte Corrêa

DQI/UFLA

Prof. José Cleto da Silva Filho  
DZO/UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Iraci e Maria Suely, por todos os ensinamentos da vida a mim transmitidos.

A meus irmãos, Alessandro e Júlio pelo companheirismo.

A minha namorada, Claudiana, pelo amor, carinho e confiança.

A todas as pessoas que de alguma forma  
contribuíram para minha formação, seja  
acadêmica ou pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por mais uma etapa cumprida,  
À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do mestrado,  
Ao CNPQ pela bolsa concedida,  
A minha família, pelo apoio, mesmo que distante,  
Ao professor José Cleto da Silva Filho, pela orientação, confiança e incentivo,  
A todos os professores da UFLA pelo excelente curso oferecido,  
Aos funcionários do Departamento de Zootecnia e Química pela amizade e serviços prestados,  
Aos integrantes da banca examinadora, professor Márcio Machado Ladeira e a professora Angelita Duarte Corrêa, pela ajuda na finalização deste trabalho,  
A pesquisadora da EPAMIG em Uberaba e amiga, Edilane Aparecida da Silva por contribuir na realização desse trabalho e pelo financiamento da FAPEMIG,  
Aos amigos de república Lécio, Wendy e Fernando pela amizade, apoio e confiança,  
Aos meus colegas de curso pelas ótimas horas de convívio juntos nas atividades acadêmicas, festas e etc,  
Aos amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

**GUSTAVO SOUZA COUTO**, filho de Maria Suely Souza Couto e Iraci Soares Couto, natural de João Monlevade – MG nasceu em 06 de julho de 1982.

Em fevereiro de 2002 ingressou na Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba – FAZU, no curso de zootecnia, concluindo-o em dezembro de 2005.

Em fevereiro de 2007, iniciou o curso de mestrado em Zootecnia (área de concentração – Nutrição de Ruminantes) na Universidade Federal de Lavras – UFLA, obtendo o título de “Mestre” em fevereiro de 2009.

## SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Biodiesel no Brasil.....	3
2.1.2 Co-produtos do Biodiesel.....	5
2.2 Co-produtos na alimentação animal.....	6
2.2.1 Nabo forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> ).....	7
2.2.2 Pinhão manso ( <i>Jatropha curcas</i> ).....	9
2.2.3 Tremoço ( <i>Lupinus albus</i> L.).....	11
2.2.4 Soja ( <i>Glycine max</i> L.).....	13
2.2.5 Algodão ( <i>Gossypium hirsutum</i> ).....	14
2.3 Caracterização das tortas e farelos de plantas oleaginosas.....	16
2.4 Digestão e absorção intestinal.....	18
2.5 Digestibilidade.....	19
2.5.1 Digestibilidade intestinal das proteínas.....	20
2.5.2 Métodos <i>in vivo</i> .....	23
2.5.3 Métodos <i>in situ</i> .....	24
2.5.4 Métodos <i>in vitro</i> .....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Local.....	29
3.2 Co-produtos avaliados.....	29
3.3 Processamentos das amostras.....	30
3.4 Procedimentos e análises laboratoriais.....	30
3.5 Digestibilidade intestinal da proteína.....	31
3.6 Delineamento experimental e análise estatística.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Análise bromatológica dos co-produtos.....	34
4.2 Degradabilidade e digestibilidade intestinal da proteína.....	37
5 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	63

## LISTA DE SIGLAS

AA	Aminoácidos;
AGV	Ácidos graxos voláteis;
CNF	Carboidrato não fibroso;
CV	Coefficiente de variação;
DI	Digestibilidade intestinal;
DR	Degradabilidade ruminal;
EE	Extrato etéreo;
FA	Farelo de algodão;
FDA	Fibra em detergente ácido;
FDN	Fibra em detergente neutro;
FN	Farelo de nabo forrageiro;
FP	Farelo de pinhão manso;
FS	Farelo de soja;
FT	Farelo de tremoço;
GL	Grau de liberdade;
MM	Matéria mineral;
MS	Matéria seca;
NDT	Nutrientes digestíveis totais;
PB	Proteína bruta;
PDR	Proteína degradável no rúmen;
PNDR	Proteína não degradável no rúmen;
QM	Quadrado médio;
TA	Torta de algodão;
TN	Torta de nabo forrageiro;
TP	Torta de pinhão manso;
TT	Torta de tremoço.

## RESUMO

COUTO, Gustavo Souza. **Digestibilidade intestinal da proteína de co-produtos da indústria do biodiesel**. 2009. 60 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Ruminantes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

Com o propósito de minimizar os gastos com a alimentação animal, tem-se buscado a utilização de resíduos agroindustriais ou alimentos alternativos, que na maioria das vezes não são sempre aproveitados como alimentos para animais. O experimento foi realizado em duas etapas com o objetivo de determinar a composição químico-bromatológica e a digestibilidade intestinal da proteína de vários co-produtos do biodiesel nas formas de farelo e torta. Foram avaliados nove co-produtos: tortas e farelos de pinhão manso, nabo forrageiro, tremoço, torta de algodão, farelo de algodão 38% e o farelo de soja 45%. Foi utilizado um esquema fatorial 4x2 com um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições mais um tratamento adicional (farelo de soja) para avaliar a confiabilidade da metodologia utilizada. Os co-produtos foram incubados no rúmen de duas vacas canuladas por 16 horas. Os resíduos não degradados no rúmen foram submetidos à digestão enzimática com solução de pepsina durante 1 hora e, posteriormente, em solução de pancreatina por 3 horas, ambas incubadas a 37 °C, com a quantidade de amostra utilizada no procedimento equivalente a 8 mg de N para a determinação da digestibilidade intestinal (DI). Ainda nos resíduos da incubação ruminal, foram determinadas: degradabilidade da matéria seca (DR), proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR). A digestibilidade intestinal da proteína para os co-produtos do biodiesel variou de 2,41 a 48,62 %, sendo esses valores abaixo dos encontrados para o farelo de soja que foi de 81,35 %. Todos os co-produtos avaliados se caracterizaram por serem alimentos de alto teor protéico, sendo considerados de alta PDR. Os co-produtos apresentaram baixa digestibilidade intestinal da proteína. A digestibilidade intestinal da proteína dos co-produtos do biodiesel nas formas de torta e farelo foi maior para as tortas em comparação aos farelos. Dos co-produtos avaliados, a torta e o farelo de algodão apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade intestinal.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador : José Cleto da Silva Filho – UFLA (orientador), Ivo Francisco de Andrade – UFLA (co-orientador)

## ABSTRACT

COUTO, Gustavo Souza. **Intestinal protein digestibility of by-products from biodiesel industry**. 2009. 60 p. Dissertation (Master Program in Ruminant Nutrition) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

With the objective of minimizing the costs with animal feed, agro-industrial residues or alternative ingredients has been used. The experiment was conducted in two steps in order to determine the chemical composition and protein intestinal digestibility of some biodiesel by-products, as meals and cakes. It was evaluated nine by-products: cakes and meals of physic nut, turnip, lupine, cotton cake, 38% cottonseed meal and 45% soybean meal. It was used a 4x2 factorial scheme in a totally randomized design (TRD) with three replicates and an additional treatment (soybean meal) to evaluate the methodology that was used. The by-products were incubated in the rumen of two cannulated Jersey cows for 16 hours. The rumen undegradable residues were submitted to enzymatic digestion with pepsin solution for 1 hour and after this in the pancreatin solution for 3 hours, both incubated at 37°C, and the amount of sample used in the procedure was equivalent to 8 mg of N for the determination of intestinal digestibility (ID). In the incubation residues it was also determined: dry matter degradability (RD), rumen degradable protein (RDP) and rumen undegradable protein (RUP). The intestinal protein digestibility of biodiesel by-products ranged from 2,41 to 48,62%, and this values were lower than that obtained in soybean meal, that present 81,35%. All the by-products evaluated in this study were characterized to be high protein sources and it were considered high-RDP. The by-products presented low intestinal protein digestibility. The protein intestinal digestibility of biodiesel co-products was higher in the cakes than the meals. The by-products evaluated, the cottonseed cake and meal presented the highest intestinal digestibility coefficients.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: José Cleto da Silva Filho – UFLA (Advisor), Ivo Francisco de Andrade – UFLA (Co-advisor)

## 1 INTRODUÇÃO

A alimentação animal é um importante elo da agroindústria brasileira. O setor consome a maior parte da produção nacional de milho e da oferta de farelo de soja, constituindo-se assim um dos principais clientes da produção agrícola nacional, além de movimentar a indústria química para o fornecimento de insumos tais como: vitaminas, aminoácidos e microingredientes. É também um importante pólo de desenvolvimento tecnológico, voltado à produção de proteína animal destinada à alimentação humana, pois está na base da produção de carnes (frango, suínos e bovinos), ovos e leite.

A utilização de alimentos de bom valor nutricional é um dos pilares para se alcançar o sucesso na produção animal. Além de determinar os níveis produtivos, os alimentos fornecidos podem chegar a representar 50% dos custos totais de um sistema, ou seja, o item alimentação determina, em grande parte, o quanto se gasta e o quanto se produz de receita na fazenda.

Com o propósito de minimizar os gastos com a alimentação animal, tem-se buscado a utilização de resíduos agroindustriais ou alimentos alternativos, que na maioria das vezes não são sempre aproveitados como alimentos para animais.

Os volumes de produção de algumas culturas são elevados e dão origem a uma grande quantidade de co-produtos. Entretanto, a utilização desses co-produtos na alimentação animal depende de uma série de fatores como: alta umidade; valor nutritivo; dificuldades na conservação; fatores antinutricionais e/ou tóxicos; a localização dos rebanhos e dos locais de produção desses co-produtos, bem como custos relacionados ao transporte dos mesmos.

A produção de biodiesel é uma das possibilidades que vem sendo levantadas para atender a demanda interna em mistura ao óleo diesel. A discussão sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira tem

como objetivo a inclusão social, a organização dos agricultores, a demanda por recursos renováveis de energia, manifestações implícitas de interesses corporativistas setoriais e questões ambientais. Existem políticas que favorecem inúmeras fontes alternativas de óleo, como as oleaginosas, cuja produção seria realizada por populações-alvo de políticas de inclusão social, como é o caso da mamona no Nordeste.

Com o propósito da utilização do biodiesel como fonte de biocombustível, estão sendo disponibilizados vários co-produtos no mercado, oriundos da extração de óleo de: nabo forrageiro, pinhão manso, tremoço, soja e caroço de algodão, cujas tortas apresentam grande potencial para serem utilizadas como alimento para os animais.

O estudo da digestibilidade intestinal da proteína dos co-produtos do biodiesel é de grande importância para a área de produção e nutrição animal, pois existe grande variabilidade entre os alimentos. O conhecimento da qualidade do alimento contribui na formulação de dietas, mantendo o equilíbrio protéico das rações e concentrados utilizados na alimentação dos animais.

Estudos têm mostrado que alguns co-produtos do biodiesel tiveram resultados positivos quando avaliados pela técnica *in vitro* em dois estágios, porém poucos trabalhos avaliaram a digestibilidade intestinal da proteína desses co-produtos.

O objetivo neste trabalho, portanto, foi determinar a composição químico-bromatológica e digestibilidade intestinal *in vitro* da proteína de vários co-produtos do biodiesel nas formas de torta e farelo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Biodiesel no Brasil**

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis e sua produção é originada a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais. Sua obtenção é feita por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Existem várias espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas para a extração de óleos, sendo chamadas de oleaginosas, tais como: mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, nabo forrageiro, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras (Brasil, 2005b).

O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclodiesel automotivos (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc). Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2, sendo que essa medida contribui com redução da emissão de gases poluentes, já o biodiesel puro é denominado B100.

A ANP estima que a atual produção brasileira de biodiesel seja da ordem de 176 milhões de litros anuais. O atual nível de produção constitui um grande desafio para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel que necessitará de, aproximadamente, 750 milhões em sua fase inicial. A capacidade produtiva atual supre, portanto, somente 17% da demanda, considerando a mistura B2, o que significa que a capacidade terá que ser triplicada até 2012, com a necessidade de adição de 5% de biodiesel ao diesel.

O biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO<sub>2</sub> é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. Um estudo conjunto do Departamento de Energia e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos mostrou que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO<sub>2</sub>. O efeito da maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é um agravamento do efeito estufa, isto é, o planeta tende a se aquecer mais do que o normal. Em outras palavras, a temperatura média da Terra tende a subir, podendo trazer graves conseqüências para a humanidade. Portanto, a redução da concentração de CO<sub>2</sub> é importante para manter o equilíbrio do efeito estufa, pois a natureza, independente da ação humana, produz uma cota razoável de CO<sub>2</sub>, que na atmosfera impede o retorno de parte do calor do sol para o espaço e garante que tenhamos uma temperatura amena à noite (Holanda, 2006).

Devido aos benefícios ambientais, o uso do biodiesel, segundo Holanda (2006), poderia gerar vantagens econômicas para o país. O Brasil poderia enquadrar o biodiesel nos acordos estabelecidos no Protocolo de Kyoto e nas diretrizes dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL. Existe, então, a possibilidade de venda de cotas de carbono por meio do Fundo Protótipo de Carbono – PCF, pela redução das emissões de gases poluentes e também de créditos de seqüestro de carbono, por meio do Fundo Bio de Carbono – CBF, administrados pelo Banco Mundial.

As regras permitem a produção a partir de diferentes oleaginosas e rotas tecnológicas, possibilitando a participação do agronegócio e da agricultura familiar mas, para o sucesso do mercado de biodiesel no Brasil e no mundo, dada sua dimensão e potencial, são relevantes o ganho em competitividade produtiva e a garantia de qualidade do combustível. Portanto, considera-se que é necessário o desenvolvimento de unidades produtivas de média para grande

escala, automatizadas e adequadas para produção em regime contínuo (Brasil, 2005a).

A autorização da produção em escala comercial de biodiesel na proporção de 2% deste para 98% de óleo diesel criaria, a princípio, uma demanda de 782 milhões de litros de biodiesel ao ano. Entretanto, cabe ressaltar que essa demanda não se realizaria imediatamente, pois as indústrias poderão demorar a instalar fábricas de biodiesel, assim como para desenvolver as cadeias para os subprodutos. A disseminação do uso do biodiesel se daria gradativamente, não sendo assim realizada de forma instantânea (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, 2005).

Segundo Parente (2003), o biodiesel fabricado através do processo de transesterificação produz o glicerol que é separado da gordura ou óleo vegetal. O processo gera dois produtos: ésteres (o nome químico do biodiesel) e a glicerina (produto valorizado no mercado de sabões).

Além do glicerol, a cadeia produtiva do biodiesel gera outros subprodutos como as tortas e os farelos que podem agregar valor e constituir outra fonte de renda importante para os produtores.

### **2.1.2 Co-produtos do Biodiesel**

Os subprodutos gerados pela cadeia produtiva do biodiesel devem ser foco de análises mais detalhadas, pois podem ser um fator determinante para a viabilidade econômica da produção desse combustível. Dentre os principais pode-se citar: glicerol, lecitina, farelo e a torta de oleaginosas.

Entretanto, existem poucos estudos acerca do aproveitamento desses co-produtos como elementos de viabilização da cadeia produtiva. Uma das contribuições precursoras nesse sentido é o estudo de Ferres (2003), o qual demonstra uma estimativa de custos do biodiesel a partir do óleo de soja.

A quantidade de glicerol corresponde em volume a aproximadamente 10% do biodiesel produzido. Com o aumento gradual da adição de biodiesel ao diesel, conforme a programação definida em âmbito federal, esta produção aumentará muito com o tempo. Portanto, é necessário encontrar novas opções de aplicação para o glicerol e seus derivados, a fim de colocar este produto no mercado evitando possíveis problemas ambientais que possam surgir.

As tortas e farelos também são co-produtos que vão aumentar muito com o crescimento da produção do biodiesel, apresentando grande potencial na nutrição animal. Como os ingredientes utilizados em concentrados para animais na forma de suplementação ou confinados encontram-se em ampla demanda no mercado mundial, estes co-produtos vêm como alternativa, aumentando as opções dos ingredientes no mercado, que pode levar a um menor custo de produção.

## **2.2 Co-produtos na alimentação animal**

Os co-produtos da agroindústria são fontes valiosas de proteína, energia e fibra para a indústria de produção animal e, tradicionalmente, estes subprodutos têm sido utilizados para substituir concentrados energéticos ou protéicos (National Research Council - NRC, 1989). Entretanto, devido às diferenças nos teores de fibra, energia e proteína, torna-se difícil categorizar alguns co-produtos como substitutos clássicos dos concentrados ou das forragens (Clark & Armentano, 1993). No Brasil, existem vários co-produtos que pertencem a este grupo heterogêneo. Com a produção de biodiesel, a quantidade de co-produto tende a aumentar ainda mais.

Segundo Wienberg (1992), os co-produtos da agricultura são encontrados em grandes quantidades e apresentam menor custo, porém, em muitos casos são sazonais.

A inclusão de co-produtos da agroindústria na alimentação de bovinos leiteiros também é economicamente justificável devido ao preço competitivo desses alimentos em relação a alimentos concentrados, convencionalmente usados na formulação de rações (Belyea et al., 1989; Grasser et al., 1995).

Também os co-produtos da agroindústria com elevado teor de fibra podem ser utilizados para substituir forragens, quando a disponibilidade das mesmas é baixa ou os preços são elevados (Chase, 1995). A inclusão de co-produtos ricos em fibra, tais como polpa de beterraba, polpa cítrica e caroço integral de algodão, em rações de ruminantes, influencia positivamente a fermentação no rúmen e a digestão da parede celular (Varga et al., 1998).

Muitas indústrias encaram os co-produtos como rejeitos industriais e, dessa forma, não têm controle sobre a qualidade destes alimentos. O não estabelecimento de parâmetros mínimos de qualidade limita o uso de alguns co-produtos devido à grande variabilidade da composição química, além da dificuldade para armazenamento e conservação (Belyea et al., 1989).

### **2.2.1 Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*)**

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) pertence à família Brassicaceae (ou Cruciferae) e é uma das espécies mais antigas no que diz respeito à extração de óleo vegetal, sendo cultivado em maiores quantidades na Ásia Oriental (Integrated Taxonomic Information System - ITIS, 2007).

Segundo Pereira (2006), o nabo forrageiro teve sua origem no sul da Europa e apresenta as seguintes características: é uma cultura anual de inverno, herbácea, ereta, ramificada, dotada de pêlos ásperos, raiz pivotante e às vezes tuberosa, podendo atingir até 1,80 m de altura, possui folhas alternadas, inflorescências na base do caule em racemos longos e flores predominantemente brancas.

Em relação às suas características, é uma planta bastante resistente a doenças e pragas e não requer muito preparo do solo para seu cultivo, podendo ser cultivada em climas temperado, continental e tropical, sendo também resistente a geadas (Zanella et al., 2005). Possui elevada capacidade de reciclagem de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), desenvolvimento rápido (150 a 200 dias) e boa resistência à acidez de solos. Essa cultura tem sido muito empregada nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil na adubação verde de inverno e como planta de cobertura, para proteger o solo (Crusciol et al., 2005).

Por se tratar de uma planta oleaginosa de fácil cultivo, produtividade mínima de 500 kg de sementes por hectare, com teor de óleo entre 40 e 54%, o óleo de nabo já integra o quadro nacional de matérias-primas regionais para produção de biodiesel (Wilhelm et al., 2006).

O ácido graxo predominante na composição do óleo de nabo forrageiro é o oléico (C18:1), que contém somente uma ligação dupla em sua cadeia carbônica, o que mostra ser vantajoso no que diz respeito à estabilidade química, pois um elevado número de insaturações pode provocar inconvenientes no motor devido a oxidações, degradações e polimerizações do combustível (Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis – CERBIO/Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2007).

O nabo forrageiro é uma planta alternativa para alimentação animal durante o período seco do ano, podendo ser cortada e fornecida no cocho aos animais ou utilizada em pastejo direto, além de também ser utilizada em consórcio com leguminosas, apesar de parecer ser menos palatável que a aveia preta e o azevém (Pereira, 2006).

Segundo Wilhelm et al. (2006), a torta de nabo forrageiro, oriunda do processo de extração do óleo, apresenta alto valor de mercado, porque além de ser isenta de resíduos de solvente, tem elevado teor de proteínas e óleo.

Mello et al. (2008), avaliando a torta de nabo forrageiro em suplementos para bovinos de corte criados em regime de pastagem contendo dois níveis de inclusão no concentrado (7,5 e 15,0%), verificaram que a torta mostrou ser um ingrediente de boa qualidade para uso em suplementos com nível de inclusão de 7,5% na matéria seca em substituição a fontes protéicas convencionais, na formulação de suplemento contendo 35% de proteína bruta.

### **2.2.2 Pinhão manso (*Jatropha curcas*)**

O pinhão manso (*Jatropha curcas*), um arbusto da família Euforbiaceae, é nativo da América do Sul e tem sido explorado agronomicamente com sucesso na América Central, Índia e África. Essa planta já é conhecida no Brasil desde o período colonial, porém, seu processo de domesticação se iniciou somente nos últimos 30 anos (Saturnino et al., 2005).

No Nordeste do Brasil, o pinhão manso está sendo considerado uma opção agrícola, por ser uma espécie nativa, exigente em insolação e com forte resistência à seca. É uma planta oleaginosa viável para a obtenção do biodiesel, pois produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, que pode se estender por 40 anos (Carnielli, 2003).

Pode-se encontrar o pinhão manso em regiões tropicais de todo o mundo e a planta cresce rapidamente em solos pedregosos e de baixa umidade (Makkar et al., 1998).

Segundo Heller (1996), o pinhão manso é uma pequena árvore ou um grande arbusto que chega até 5 m de altura. É latescente, possui folhas alternas, longo-pecioladas, cordiformes, lobadas, com cinco lobos. As flores são unissexuadas, pequenas, pentâmeras, amarelo-esverdeadas em panículas terminais ou axilares e com as flores masculinas ocupando as extremidades

superiores dos ramos. Os frutos são cápsulas tricocas, coriáceas, lisas com três sementes lisas e escuras (Oliveira et al., 2003).

O pinhão manso é uma planta de multipropósito, pois possui propriedades medicinais e também fornece óleo para variadas funções. Com isso, tem ganhado cada vez mais importância econômica (Aregheore et al., 2003).

Com o advento da produção de biodiesel no Brasil, gera-se grande expectativa quanto à utilização do pinhão manso devido a suas vantagens de utilização em relação a matérias-primas já conhecidas, como a mamona, por exemplo. Dentre estas vantagens destacam-se: é uma cultura perene, possui menor exigência hídrica, menor exigência nutricional e principalmente seu grande rendimento agrônomo, com média de 5 toneladas de semente por hectare, o que significa 1,75 toneladas de óleo vegetal por hectare, ou seja, quase quatro vezes o rendimento em óleo da mamona (Paulino et al., 2006).

Para Purcino & Drummond (1986), o pinhão manso é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em óleo diesel. Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação da semente colhida, podendo se tornar grande produtora de matéria prima como fonte opcional de combustível. Para estes autores, esta é uma cultura que pode se desenvolver nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da Região Nordeste.

Apesar do seu enorme potencial, o pinhão manso apresenta desvantagens em relação às outras oleaginosas devido à presença de fatores antinutricionais (fitatos e inibidores de tripsina) e compostos tóxicos (curcina e ésteres de forbol), que prejudica sua utilização na alimentação animal (Makkar et al., 1997; Martinez-Herrera et al., 2006). Atribuem-se as propriedades tóxicas do pinhão a uma globulina, a curcasina e também ao ácido jatrópico de toxicidade igual ou

superior à ricinina. A ingestão de uma única semente fresca pode causar tanto vômito como diarreia (Peixoto, 1973). Contudo, pode ser utilizado na alimentação animal desde que tratamentos adequados e eficientes sejam realizados para a redução ou eliminação destes fatores, porém a viabilidade econômica é questionável (Aregheore et al., 2003).

Pesquisas incipientes, realizadas por Aderibigde et al. (1997), mostram valores de digestibilidade da matéria orgânica da torta de pinhão manso em torno de 60% e, do farelo, em torno de 70%. Entretanto, um dos grandes problemas encontrados neste tipo de vegetal é a grande variabilidade que existe entre suas variedades.

### **2.2.3 Tremoço (*Lupinus albus* L.)**

O tremoço (*Lupinus albus* L.) é uma espécie pertencente ao gênero *Lupinus* (mais de 200 espécies) e à família Fabaceae. As espécies do gênero *Lupinus* estão distribuídas em dois centros de origem. Uma corresponde ao Mediterrâneo e a outra se estende pela América do Sul (Dervas et al., 1999). As espécies mais cultivadas de tremoço são *Lupinus albus* L. (tremoço branco), *Lupinus angustifolius* L. (tremoço azul), *Lupinus luteus* L. (tremoço amarelo) e *Lupinus mutabilis* L. As três primeiras espécies são originárias do Mediterrâneo. O tremoço é cultivado, principalmente, por três razões: como alimento para ruminantes; como adubo verde, contribuindo na melhora da estrutura do solo e na nutrição humana, devido a seu elevado teor protéico e de óleo (Faluyi et al., 2000).

O tremoço é uma planta de porte ereto que, normalmente, mede entre 50 cm e 2 m de altura. As folhas estão formadas por um número ímpar de folíolos. As espécies cultivadas para alimentação são pouco vistosas e com inflorescência pequena. A cor das pétalas varia do branco ao azul intenso. Seu fruto é um

legume e as sementes têm forma de esfera. O teor de óleo dos grãos é de 20%, com produção por hectare de 1 a 2 toneladas. A adaptação é ampla e o ciclo tem duração de 150 a 180 dias (Costa, 2003).

Segundo Almeida (1999), existem variedades, como os tremoços doces, que são melhoradas através de um gene recessivo que vai conferir um teor em alcalóides mais baixo do que aqueles que são amargos. A grande vantagem do adoçamento é a obtenção de variedades mais resistentes do ponto de vista agrícola, não tendo que passar pelo processo de "desamargamento" e, conseqüentemente, a utilização direta é mais adequada na indústria. Como exemplo, podemos citar a produção de farinhas com aditivos nutricionais para a alimentação humana e as rações para animais.

O *Lupinus albus* apresenta altas quantidades de proteínas, em torno de 32 - 38%, 10% de óleo e não contém inibidores de tripsina. A composição em aminoácidos é limitante, principalmente para a metionina. Sabe-se ainda que as espécies de tremoço apresentam alta digestibilidade (Putnam et al., 1989; Teague Australia PTY Ltd, 2000).

O tremoço tem sido usado como alimento em ruminantes devido a suas características nutricionais. O teor de proteína bruta é de aproximadamente 35,5% da matéria orgânica e a digestibilidade da matéria orgânica de 91,1%. O tremoço contém poucas quantidades de amido (0,3 a 0,5%), motivo pelo qual se constitui em excelente alternativa suplementar (Leng, 1990; Brand et al., 1997).

O perfil de ácidos graxos do tremoço é descrito pela alta proporção de insaturados e a transferência destas características para a carne do animal consumido pelos humanos é passível de trazer benefícios à saúde humana (Manucci et al., 2006).

#### 2.2.4 Soja (*Glycine max* L.)

A soja (*Glycine max* L.) é reconhecida como uma das mais antigas plantas cultivadas no mundo. A partir da década de 1960, com a rápida expansão da soja no Brasil e com um setor produtivo altamente carente por tecnologias e pesquisa, foram criados novos núcleos de pesquisa, principalmente no Sul e Sudeste (Mandarino, 2005).

É considerada uma espécie exótica no país. Essa cultura tem como centro de origem a região leste da China. A primeira referência ao plantio experimental da soja no Brasil data de 1882, quando foi avaliado o material introduzido na Bahia. Sua exploração comercial aconteceu bem mais tarde, com as primeiras referências estatísticas oficiais reportadas em 1941 e 1945, para produções no RS e SP, respectivamente (Mandarino, 2005).

A soja é uma leguminosa anual, pertencente à família Fabaceae, subfamília Papilionoideae. O gênero *Glycine* Willd inclui doze espécies perenes no subgênero *Glycine* e duas espécies anuais no subgênero soja (Costa, 1996).

Considerada uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo. Ela tem sido cultivada comercialmente e utilizada nas alimentações humana e animal por séculos, sem nenhum registro de danos causados aos consumidores ou ao meio ambiente (Rohr, 1978).

A maioria dos co-produtos da soja pode ser identificada pelos fragmentos da casca. Mesmo o farelo sem casca apresenta pequenas porcentagens de fragmentos de casca. O farelo consiste de partículas do embrião, de onde a maior parte do óleo foi extraída e normalmente, também está presente a casca, adicionada para ajustar o conteúdo protéico (Butolo, 2002).

As partículas do farelo extraído por solvente são irregulares e planas, com bordas arredondas e de aparência translúcida, variando da cor creme a marrom pálida (Butolo, 2002).

No Brasil, a soja é predominantemente utilizada para o processamento do grão em óleo e proteína. A proteína processada (torta ou farelo) é utilizada como suplemento protéico na ração animal (Rohr, 1978).

O uso da soja necessita de processamento para destruir os fatores antinutricionais, pois pesquisas realizadas com aves, suínos e outros não ruminantes demonstraram que a soja, no seu estado natural, sem processamento, possui fatores biológicos que inibem o crescimento, reduzem a disponibilidade de proteína, causam hipertrofia pancreática, estimulam a hiper e hipo secreção de enzimas pancreáticas e reduzem a disponibilidade de aminoácidos, vitaminas e minerais (Butolo, 2002).

#### **2.2.5 Algodão (*Gossypium hirsutum*)**

No Brasil, pouco se sabe sobre a pré-história da malvácea, o algodão (*Gossypium hirsutum*). Pela época do descobrimento do nosso país, os indígenas já cultivavam o algodão e convertiam-no em fios e tecidos. O algodoeiro é uma das principais plantas domesticadas pelo homem e uma das mais antigas, tendo registros de seu uso há mais de 4.000 anos (Passos, 1977).

O algodoeiro pertence ao grupo de plantas dicotiledoneas, família Malvaceae. O Latifolium Hutch pertence ao algodoeiro "herbáceo" e o Marie Galante Hutch, pertence ao algodoeiro "arbóreo". As cultivares diferenciam-se quanto ao tamanho da fibra (curto, médio, longo), ciclo curto (120-140 dias), ciclo longo (150-180 dias), porte alto ou baixo, resistência ou susceptibilidade a doenças, entre outras características. O algodoeiro é uma planta ereta, anual ou perene. O caule herbáceo ou lenhoso tem altura variável e é dotado de ramos vegetativos e ramos frutíferos (Richetti & Melo Filho, 2001).

A cultura do algodoeiro é amplamente cultivada e comercializada no mundo. Cerca de 90% das fibras de algodão comercializadas no mundo são provenientes da espécie *Gossypium hirsutum* (Oosterhuis, 1999).

No Brasil, há duas regiões produtoras de algodão bem distintas, a Região Nordeste, que produz algodão de fibras longas e extra-longas, e as Regiões Central e Sul, que produzem algodão de fibra média (Richetti & Melo Filho, 2001).

O beneficiamento e/ou descaroçamento separa a fibra (ou pluma) da semente (ou caroço) de algodão. O caroço de algodão é uma das principais matérias-primas para a indústria de óleos cosméticos, sendo o óleo de algodão o mais antigo óleo vegetal produzido e consumido em larga escala. Quando industrializado, o caroço é separado em três componentes: a amêndoa, a casca e o línter. A amêndoa, liberada com a quebra das cascas, possui 30-40% de proteínas e 35-40% de lipídeos. O línter, que recobre a superfície da semente, é constituído de fibras curtas (3 a 9 mm) de celulose, que pode representar 3-18% do peso do caroço, dependendo do clima, solo e cultivar (Cardoso, 2001).

As sementes de algodão são excelentes fontes de óleo e proteína. O teor de óleo varia entre 18-25%, contendo, em média, 27% de ácidos graxos saturados, 16% de monoinsaturados e 57% de poliinsaturados (Richetti & Melo Filho, 2001).

Na alimentação animal, tradicionalmente são utilizados subprodutos do algodoeiro, sendo os mais importantes: o farelo, o caroço e as cascas do caroço de algodão. O caroço de algodão é fonte de proteína e de energia nas rações de ruminantes. O farelo de algodão é excelente fonte de proteína e pode ser utilizado tanto por ruminantes como por monogástricos. A casca de algodão é utilizada como fonte de fibra na dieta. Contudo, os subprodutos do algodoeiro são principalmente utilizados em rações para ruminantes, pois contém gossipol,

composto tóxico aos monogástricos, mas salvo se fornecido em quantidades elevadas, inofensivo aos ruminantes (Erismann et al., 1999; Matos, 2007).

O elevado teor de fibra e a presença de gossipol, pigmento amarelo, polifenólico, encontrado nas glândulas de óleo do caroço de algodão, são os fatores limitantes quanto à utilização desse ingrediente nas rações de monogástricos. Na maioria dos farelos, o conteúdo de gossipol total está em torno de 1%, entretanto, desse total, somente 0,1% está na forma de gossipol livre, que se liga quimicamente ao ferro da dieta, tornando-o indisponível, causando problemas relacionados ao aparecimento de deficiências de ferro. O restante do gossipol total é praticamente inerte, porém, sob condições de excessivo aquecimento durante o processamento, o gossipol liga-se com a lisina, tornando-a, indisponível, através da reação de Maillard, portanto, reduzindo o valor nutricional da proteína (Butolo, 2002).

### **2.3 Caracterização das tortas e farelos de plantas oleaginosas**

As tortas ou farelos, assim chamados de acordo com o tipo de extração a que foram submetidos as sementes oleaginosas, são, em suas composições, iguais às sementes originais, porém com reduzido conteúdo de óleo e com suas estruturas protéicas ligeiramente modificadas pelo processamento (Rohr, 1978).

Chama-se torta quando a extração se processou por prensas mecânicas e de farelo quando esta se processou por extração com o uso de solvente e posterior moagem do produto. Como a semente é composta por triglicerídeos, carboidratos e proteínas, então a composição das tortas ou farelos constitui-se principalmente destes dois últimos, ou seja, de carboidratos e de proteínas (Rohr, 1978).

Torta é o resíduo da prensagem de sementes de oleaginosas, para extração do óleo, contendo grande quantidade de óleo remanescente (Ensminger

et al., 1990). São alguns exemplos mais comuns de tortas as de algodão, girassol, amendoim, dendê, babaçu, coco, soja, entre outras. Estas, diferentemente dos farelos, são resultantes de um baixo rendimento na retirada do óleo, devido à simplicidade de seu mecanismo de extração (somente prensagem).

As tortas de nabo forrageiro e pinhão manso têm sido disponibilizadas em maiores quantidades no Brasil. Este fato é decorrente dos estudos realizados com a utilização do óleo bruto dessas tortas (obtido por prensagem a frio) como combustível natural em substituição ao diesel de petróleo (biodiesel de nabo forrageiro ou pinhão manso).

Dependendo da finalidade a que se destina o óleo, significativas alterações nos mecanismos de sua extração podem ocorrer. A variedade da semente utilizada, tratamento prévio, ou mesmo diferentes tipos de prensas e sistemas de prensagem, promovem variação na composição final das tortas. Dos componentes afetados, o conteúdo de óleo na torta é o que apresenta maior variação. Por isso, é imprescindível sua devida caracterização.

O método de extração utilizando solvente possibilita a obtenção de um material com baixo teor de óleo (menor que 1,5%), assim resultando em maior teor de proteína bruta (Evangelista et al., 2004). No processo de extração, podem ser utilizados vários tipos de extratores, contínuos ou rotativos. O ponto importante nessa fase é o tempo de retenção (TR), que é o período que o farelo fica retido para recuperação do solvente, portanto, temperatura, umidade e TR devem ser controlados para se evitar um processamento inadequado, tornando o farelo super-tostado ou sub-tostado, que irá interferir na disponibilidade biológica do produto (Butolo, 2002).

## **2.4 Digestão e absorção intestinal**

Após os processos fermentativos que ocorrem no rúmen, os nutrientes não degradados no mesmo como carboidratos, proteínas e gorduras, além da proteína microbiana, seguem para o abomaso e intestino delgado, onde serão submetidos ao processo de digestão normalmente observado em animais monogástricos. A digestão é a quebra física e química de substâncias complexas em moléculas simples, que serão posteriormente absorvidas pelo epitélio intestinal e utilizadas pelos animais para a manutenção de suas atividades vitais e para o crescimento (Furlan et al., 2006).

O processo de digestão da proteína no abomaso e intestino dos ruminantes é muito parecido com o processo em não ruminantes, exceto pela neutralização lenta da acidez da digestão duodenal. A fração da proteína não degradável no rúmen (PNDR), encontrada nos alimentos, tem sua digestão iniciada com a ação da pepsina no abomaso, ação essa prolongada no duodeno pela neutralização lenta da digestão nesse compartimento. Entretanto, a maior parte da digestão ocorre no jejuno médio, onde as enzimas pancreáticas, tripsina, quimotripsina e carboxipeptidases apresentam atividade máxima; e no íleo médio, onde ocorre o pico da atividade das aminopeptidases e dipeptidases secretadas pelo intestino (Santos, 2006).

A pepsina age sobre as moléculas de proteínas e produz peptídeos no geral. Tripsina e quimotripsina agem sobre proteínas e peptídeos e produzem polipeptídeos e dipeptídeos. Carboxipeptidases agem sobre polipeptídeos e produzem pequenos peptídeos e aminoácidos (AA) livres. As aminopeptidases agem sobre polipeptídeos e produzem pequenos peptídeos e AA livres, enquanto as dipeptidases transformam dipeptídeos em AA livres (Santos, 2006).

A mucosa do intestino delgado contém sítios para a absorção de peptídeos, AA, nucleotídeos e nucleotídeos. Acreditava-se, inicialmente, que apenas a absorção de AA era de importância para o ruminante e que a absorção

de peptídeos era insignificante ou nula, mas estudos confirmaram que a absorção de peptídeos ocorre de forma significativa no intestino. Entretanto, acreditava-se que todo peptídeo absorvido era metabolizado na mucosa intestinal e transportado pela veia porta apenas na forma de AA livres. Evidências vêm se acumulando de que não apenas AA, mas também pequenos peptídeos são absorvidos pelo intestino e transformados como tais no fígado. A absorção ocorre principalmente no jejuno médio e ílio médio, através de um processo similar ao da absorção de glucose. É um processo que requer energia e que também utiliza transportadores dependentes de sódio (Santos, 2006).

## **2.5 Digestibilidade**

Segundo Silva (2002), a digestibilidade dos alimentos é medida nas diferentes espécies animais, conforme interesse do pesquisador, e usando-se distintas técnicas de campo e de laboratório.

O coeficiente de digestibilidade é um parâmetro de grande importância para a determinação do valor nutritivo de um alimento, o qual pode ser influenciado por vários fatores, como a qualidade do alimento destinado ao animal, nível de consumo, distúrbios digestivos, idade do animal, entre outros (Church & Pond, 1977).

Os estudos de Conrad et al. (1964) e Conrad (1966) determinaram a relação entre digestibilidade e consumo de matéria seca (MS) e concluíram que, com a digestibilidade em torno de até 65%, ocorre relação positiva com o consumo animal por apresentar uma regulação física sem prejudicar a exigência do animal. Estes autores mostraram ainda que com valores superiores a esse, pode-se esperar relação negativa entre a digestibilidade e o consumo de (MS). A digestibilidade passa a ser um fator de grande importância como promotor de

consumo, ou seja, aumentando o tempo de permanência do alimento no rúmen (Soest, 1994).

Soest (1994) observou que o consumo e a eficiência de utilização de energia de determinado alimento variam entre os animais, sendo, portanto, mais fácil o estabelecimento de valores alimentares para a digestibilidade, ou seja, a digestibilidade tem sido utilizada como variável de qualidade, indicando a proporção do alimento que está apta a ser utilizada pelo animal.

A digestibilidade *in vitro* tem sido utilizada extensivamente nas análises de alimentos, já que apresenta alta correlação com a digestibilidade *in vivo* (Silva, 2002).

### **2.5.1 Digestibilidade intestinal das proteínas**

A proteína bruta contida nos alimentos consumidos pelos ruminantes está composta de duas frações; uma fração correlacionada à proteína degradável no rúmen (PDR) e uma fração de PNDR. A degradação de proteínas no rúmen ocorre devido à ação enzimática de proteases e peptidases, produzidas pelos microrganismos ruminais (Portela, 2006).

A síntese de proteína microbiana é fator determinante no desempenho de animais ruminantes. Em animais de desempenho baixo, normalmente, o aporte protéico a partir da proteína microbiana é suficiente para suprir as exigências de manutenção e produção. Porém, para conseguir manter níveis elevados de produção, a PNDR se torna importante, pois aumenta o aporte de aminoácidos no intestino delgado (Stern et al., 2006).

O fornecimento de fontes protéicas de baixa degradabilidade ruminal tem como objetivo a tentativa de alteração do perfil aminoacídico que chega ao duodeno (Hussein et al., 1995). Entretanto, este artifício nutricional não tem proporcionado bons resultados devido ao baixo suprimento de nitrogênio

no rúmen para síntese microbiana e devido à baixa qualidade dos aminoácidos existentes em certos alimentos (Clark et al., 1992).

A quantidade de PDR depende da velocidade de degradação e da velocidade de passagem do alimento pelo rúmen. A velocidade de degradação protéica depende da solubilidade e da estrutura da proteína, além da atividade proteolítica dos microorganismos ruminais, a qual pode ser afetada pelo pH, o tamanho de partícula (Tice et al., 1994), a relação volumoso:concentrado, etc. (Eliman & Ørskov, 1984).

Segundo Haugen et al. (2006), o sistema de avaliação protéica para gado de leite (NRC, 2001) reconhece que existem diferenças entre alimentos em relação à digestibilidade intestinal das proteínas. Antes da revisão de 2001, a digestibilidade intestinal da PNDR era considerada constante para todos os alimentos (80%), igual ao sistema de avaliação protéica para gado de corte (NRC, 1996) que ainda mantém essa constância para os alimentos. Os autores concluíram que este valor constante era considerado devido à falta de informação em relação aos valores da digestibilidade da PNDR dos alimentos. O NRC (2001), para gado leiteiro, já considera valores entre 50 e 100%. A variabilidade entre alimentos está em função do tipo de alimento, tipo e grau de processamento, entre outros (Calsamiglia & Stern, 1995). Branco et al. (2006) determinaram a digestibilidade intestinal de vários alimentos para ruminantes usando várias metodologias e concluíram que é o valor da digestibilidade intestinal que deve ser considerado na hora de formular uma dieta, devido à variabilidade que existe entre eles.

Normalmente, para a formulação das rações, são utilizados valores de tabelas em relação à fração da PNDR, como por exemplo as publicadas pelo NRC (2001) e é notada mais uma vez a grande variação nesses valores. Os elevados valores nos coeficientes de variação indicam problemas em relação à qualidade das análises que levaram aos resultados, concluindo que o

controle de qualidade poderia não ser o melhor. Ótimos processos e boas condições nas rotinas de laboratório são fundamentais para obter resultados confiáveis e reduzir assim a possível variabilidade nos resultados (Stern et al., 2006).

Muitos nutricionistas têm focado seus estudos no uso de fração PNDR com o objetivo de incrementar o fluxo de aminoácidos para o intestino delgado em ruminantes e os resultados são variáveis (Legleiter et al., 2005). Esses autores conduziram dois experimentos para determinar se o aumento na porcentagem de PNDR na dieta poderia influenciar o valor PNDR dos alimentos. No primeiro experimento, foi realizada cultura *in vitro* usando fluido ruminal como inóculo, sendo incubadas amostras de cinco dietas diferentes (níveis de suplementação protéica). Não foram observados efeitos dos tratamentos sobre a atividade proteolítica nem produção de AGV. No segundo experimento, utilizando novilhos de 276 kg de peso vivo, estudaram os efeitos da relação ou balanço de aminoácido: energia, usando farinha de sangue como fonte de PNDR, sobre o ganho diário de peso, eficiência alimentar e deposição de tecidos. A conclusão dos autores foi que os diferentes níveis usados de farinha de sangue como fonte de PNDR não afetaram o seu valor PNDR ou sua eficácia para aportar aminoácidos pós-ruminalmente.

Nas últimas duas décadas, vários sistemas de avaliação e determinação das necessidades protéicas nos ruminantes têm sido propostos. Estes sistemas estão baseados, principalmente, na avaliação por separado das diferentes frações protéicas do alimento (PDR, PNDR). Métodos *in vivo*, *in vitro* e *in situ* tem sido utilizados para determinar a degradabilidade ruminal da proteína bruta do alimento (Tománková & Homolka, 2002).

### 2.5.2 Métodos *in vivo*

O objetivo de experimentos de digestibilidade é obter de forma acurada a quantidade de alimento fornecido e a quantidade excretada em determinado período de tempo (González, 2006). Apesar de ser considerada como metodologia mais confiável, apresenta a dificuldade em relação ao número de animais, controle rigoroso da quantidade ingerida e excretada e instalações adequadas, o que inviabiliza economicamente esta metodologia em várias situações (Berchielli et al., 2006).

A determinação *in vivo* da digestibilidade de um alimento pode ser obtida a partir de métodos diretos e indiretos. O método direto é aquele no qual a determinação é feita após a mensuração exata do alimento ou nutriente fornecido e de sua excreção (Rymer, 2000).

Em algumas situações, com animais sob pastejo ou quando não existem instalações adequadas, o controle efetivo do alimento ou nutriente ingerido ou excretado não é possível. Nesse caso, algumas metodologias, como a utilização de marcadores, têm sido propostas (Berchielli et al., 2006). Esta metodologia é considerada de determinação indireta e a determinação final é predita a partir da mensuração da concentração do marcador nas fezes e no alimento (Rymer, 2000).

A digestibilidade intestinal aparente da PNDR é estabelecida a partir de seu desaparecimento entre o duodeno e o íleo, precisando, portanto, de animais com múltiplas fístulas, o que torna esta metodologia de difícil aplicação e de alto custo (González, 2006).

Entre as principais limitações da metodologia de determinação *in vivo* poderiam se citar: as imprecisões associadas ao uso de marcadores microbianos e de fluxos de passagem; difícil estimação dos valores da digestibilidade verdadeira; medidas obtidas em vários períodos experimentais (González, 2006).

### 2.5.3 Métodos *in situ*

Os primeiros valores de digestibilidade intestinal foram publicados após o uso da técnica de sacos móveis desenvolvida por Sauer et al. (1989), originalmente utilizada para avaliação da digestibilidade protéica em suínos.

A metodologia *in situ* consiste na incubação de amostras de alimentos (pré-incubados no rúmen) em sacos de náilon via cânula no duodeno, onde transitam pelo intestino, entre o duodeno e o íleo até serem recuperados no final do trato ou nas fezes (Berchielli et al., 2006).

Nesta metodologia, pode ser omitida a digestão no abomaso, porque esta não aporta variações sobre os valores obtidos a partir da digestão intestinal. Sua principal vantagem é a de ser adaptável a estudos sistemáticos sobre um grande número de alimentos. Porém, o uso desta técnica é limitada a muitos alimentos pela diminuição da digestibilidade intestinal com o tempo de pré-incubação ruminal ao aumentar a quantidade de compostos indigestíveis nas partículas de alimento com o aumento da ação de degradação ruminal. Uma prática comum é definir um só tempo de incubação, mas isto não simula adequadamente a fisiologia ruminal, de tal maneira que o resíduo obtido não corresponde realmente ao valor de PNDR do alimento (Gonzáles, 2006).

A variação existente, utilizando estas adequações entre alimentos, faz com que a técnica não seja a de maior acurácia. Portanto, os valores de digestibilidade intestinal das proteínas assim obtidos não são os mais precisos. Uma outra prática é incubar o alimento diretamente, excluindo a etapa ruminal. Este procedimento, além de ter as desvantagens anteriormente citadas, poderia cair em erros, porque parte dos componentes não digeridos no intestino poderiam ter sido digeridos no rúmen (Gonzáles, 2006).

#### 2.5.4 Métodos *in vitro*

Desenvolver e aplicar métodos de laboratório para determinar a composição e qualidade de um alimento ou nutriente é uma linha de pesquisa intensa com grande sucesso nos últimos tempos. As metodologias *in vitro* se apresentam como alternativa aos métodos *in vivo* e *in situ*, os quais, normalmente, requerem maiores esforços em relação à mão-de-obra, infraestrutura e custos. Os métodos *in vitro* devem ser capazes de representar o processo de digestão que ocorre no rúmen, abomaso ou intestino para estimar quantitativamente a taxa e o grau de digestão de forma semelhante ao que acontece *in vivo* (Berchielli et al., 2006).

Uma das metodologias mais usadas, ainda hoje, é a proposta por Tilley & Terry (1963) ou técnica de dois estágios. No primeiro estágio, a amostra é incubada com inóculo ruminal e, no segundo, em solução ácida de pepsina. O resíduo representa a fração não degradada ou indigestível e por diferença é calculada a digestibilidade do alimento analisado. Vários problemas têm sido encontrados quando se utiliza inóculo ruminal como fonte enzimática, devido, entre outros, à sua variabilidade e à dependência de animais canulados (Jones & Theodorou, 2000).

Várias metodologias têm sido estudadas para a não utilização de inóculo de fluido ruminal, não sendo necessários animais fistulados. A maioria delas utiliza enzimas comerciais ou produzidas em laboratório. Mas, a maioria de enzimas usadas não são anaeróbias, ou seja, não correspondem aos complexos enzimáticos encontrados no fluido ruminal. Reese & Mandels (1963) utilizaram um complexo celulase-hemicelulase de espécies de *Trichoderma* e McQueen & Soest (1971), usaram celulases de *Aspergillus*, e observaram uma alta correlação ( $r=0,87$ ) com a digestibilidade *in vivo*.

Calsamiglia & Stern (1995) desenvolveram um procedimento *in vitro* para estimar a digestibilidade intestinal das proteínas em ruminantes. O procedimento é conhecido como três estágios. No primeiro estágio é realizada a incubação da amostra de alimento no rúmen (16 horas), posteriormente, o resíduo obtido é incubado em solução de pepsina e, finalmente, é realizada uma incubação em solução de pancreatina. A precipitação da proteína não digerida é realizada com ácido tricloroacético. Os autores observaram que a incubação no rúmen não afetou a digestão do resíduo de proteína bruta com pepsina-pancreatina no farelo de soja, glúten de milho e farelo de sangue, mas reduziu a digestão pepsina-pancreatina do resíduo de proteína bruta no farelo de penas hidrolisadas, farinha de peixe e de carne e osso (80 vs 70, 88 vs 81, e 82 vs 56, para não incubação ruminal ou incubação ruminal, respectivamente). Também observaram que a digestão com pepsina antes da digestão com pancreatina aumentou a digestão da proteína bruta em todos os alimentos testados, em média em 23 unidades percentuais. Os autores concluíram que o procedimento é uma alternativa às metodologias com animais para estimar a digestibilidade. Considerando as diferenças nos valores de digestibilidade intestinal dos diferentes alimentos testados, é importante que estas sejam levadas em consideração quando se realizem determinações em ruminantes. O NRC (2001) adotou essa metodologia para apresentar os valores de PNDR dos alimentos.

Mais recentemente, McNiven et al. (2002) modificaram o procedimento dos três estágios substituindo a incubação *in situ* por uma pré-incubação com protease de *Streptomyces griseus*, seguida de uma incubação com pepsina e outra com pancreatina. Porém, o procedimento apresenta variações quando avalia uma ampla faixa de alimentos (Stern et al., 2006). Estudo semelhante, realizado por Tománková & Homolka (2002), teve como objetivo avaliar vários métodos de determinação da digestibilidade intestinal

de proteína: um método enzimático combinado, o qual não incluiu a etapa de incubação ruminal, sendo esta substituída por uma digestão com protease (bromelina) seguida das digestões com pepsina e pancreatina; o método tradicional dos três estágios e o método de sacos móveis, usando animais canulados no duodeno. Os autores concluíram que o método combinado enzimático teve uma boa aproximação com o método dos sacos móveis. O alto coeficiente de correlação ( $R=0,867$ ) entre os dois métodos sugere que o método combinado pode ser efetivo para determinar a digestibilidade intestinal da PNDR.

Um trabalho publicado por Gargallo et al. (2006) apresentou algumas modificações ao método dos três estágios de Calsamiglia & Stern (1995). Neste trabalho, foram estudados vários aspectos relacionados com o processo completo. Incluíram a utilização do incubador Daisy II; equipamento que permite controlar bem as condições de manejo das amostras, procurando menor variabilidade nos resultados a partir do procedimento, já que o equipamento possui quatro frascos com capacidade para 30 amostras em cada um. Isso permite menor gasto em reagentes e enzimas. Os autores avaliaram diferentes tamanhos de amostra e tipos de enzimas (principalmente pepsinas) procurando diminuir os custos. Também estudaram diferentes tipos de sacos. Novamente foi testado o procedimento sem a etapa de incubação ruminal, realizando as incubações com pepsina e pancreatina sem essa etapa. Finalmente, considerando que o ácido tricloroacético (TCA) é de alta toxicidade e que possui forte poder poluente, esta etapa do procedimento foi substituída, e o ácido não foi usado. Os autores concluíram que o equipamento Daisy II funcionou bem e que a enzima Sigma P 7000, Sigma (pepsina) pode ser usada, substituindo a de maior custo. O tempo de incubação ruminal pode ser diminuído para 12 horas. E também concluíram

que o TCA pode ser excluído do procedimento, usando uma série de lavagens.

No Brasil, vários trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando essas metodologias, principalmente a de três estágios, com a finalidade de avaliar a digestibilidade intestinal da fração PNDR. Os resultados também são variáveis. Branco et al. (2006) avaliaram a digestibilidade intestinal de diferentes tipos de alimento, usando métodos *in situ* e *in vitro*. Foram avaliados alimentos de várias categorias: energéticos e protéicos, tanto de origem vegetal como animal. Esses autores determinaram a digestibilidade intestinal usando somente digestão com pepsina ou pepsina mais pancreatina, precedidas ou não da incubação no rúmen. Os autores observaram que a digestibilidade intestinal verdadeira da proteína diminuiu com a incubação ruminal em 24 de 30 alimentos testados. A digestibilidade intestinal da fração PNDR é menor que a da proteína original do alimento. Os autores concluíram que a técnica dos três estágios foi mais eficiente em representar as condições fisiológicas verdadeiras do animal e que a incubação ruminal é necessária. Além disso, observaram variações na digestibilidade entre e dentro de categorias de alimentos.

Segundo Straalen et al. (1993), a presença de contaminação microbiana, resíduos digeridos e material endógeno atribuída a esta técnica, pode ser reduzida por meio do processo de lavagem que deve ser criterioso após a recuperação dos sacos. Por outro lado, Casamiglia & Stern (1995), observaram que a contaminação microbiana pela técnica dos três estágios foi mínima.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local

A degradabilidade ruminal, primeira etapa do experimento, foi conduzida no Departamento de Zootecnia – DZO da Universidade Federal de Lavras. Já na segunda etapa, a determinação da digestibilidade intestinal da proteína, o experimento foi conduzido no Laboratório de Bioquímica do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. As análises bromatológicas foram realizadas no laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais no Centro Tecnológico do Centro Oeste – CTCO da Fazenda Experimental de Santa Rita – Sete Lagoas – FESR da Epamig.

#### 3.2 Co-produtos avaliados

Foram avaliados os seguintes co-produtos: pinhão manso (*Jatropha curcas*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), tremoço (*Lupinus albus* L), algodão (*Gossypium hirsutum*), nas formas de tortas e farelos. Para a soja (*Glycine max* L.), utilizou-se o farelo comercial.

Os tratamentos avaliados correspondem aos co-produtos utilizados – quatro em sua totalidade, considerando dois tipos de processamento por tratamento, ou seja, um para torta e outro para farelo, incluindo um tratamento adicional determinado pelo farelo de soja. O farelo de soja foi utilizado somente para verificar a confiabilidade da metodologia. Foram utilizados nesta pesquisa o farelo de soja 45% e o farelo de algodão 38% de PB, sendo adquiridos de uma fonte comercial.

### 3.3 Processamentos das amostras

As amostras foram submetidas à extração mecânica a frio, realizadas no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, utilizando uma prensa mecânica tipo “expeller” em aço inoxidável, modelo MPE – 40. As amostras foram passadas uma única vez pela prensa, resultando nas tortas que foram utilizadas no experimento. Para a obtenção dos farelos, as tortas foram enviadas para o Departamento de Química, da UFLA, onde foi realizada a extração química do óleo da torta resultante da extração mecânica, utilizando um extrator do tipo Soxlet. As amostras das tortas foram deixadas em refluxo com 150 mL de hexano por aproximadamente 3 horas. Após o refluxo, as amostras foram secas em estufa a 80°C para evaporação total do solvente.

### 3.4 Procedimentos e análises laboratoriais

Foram realizadas determinações da matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) seguindo os procedimentos descritos pela Association of Official Agricultural Chemists - AOAC (1990), além da porcentagem de carboidratos não fibrosos, estimados pela seguinte equação proposta pelo NRC (2001):

$$\text{CNF} = 100 - (\% \text{FDN} + \% \text{PB} + \% \text{EE} + \% \text{MM})$$

As determinações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram feitas segundo Soest (1967). Todas as determinações foram feitas em triplicata.

A avaliação da degradabilidade foi determinada pela incubação *in situ* das amostras dos diferentes co-produtos, onde foram utilizadas duas vacas com cânulas no rúmen, as quais foram mantidas em pastejo de *Brachiaria decumbens*, sendo suplementadas com 1,0 kg de concentrado por dia. Os animais foram manejados da seguinte forma: os saquinhos foram

colocados no rúmen às 16 horas e retirados às 8 horas do dia seguinte completando 16 horas de incubação. Foram pesadas aproximadamente 5 g de amostra (passada por peneira de 2 mm) dentro de bolsas de tecido (TNT 100 gramatura/m<sup>2</sup>), num total de 8 repetições de cada co-produto, com uma quantidade suficiente do resíduo para incubação ruminal. Logo em seguida, as bolsas foram lavadas cinco vezes durante dez minutos cada vez, em máquina lavadora. As amostras foram então levadas à estufa a 55°C por 48 horas. Foram formadas amostras compostas a partir dos resíduos para a determinação do conteúdo de N. Considerou-se como PNDR a proteína encontrada nos resíduos de incubação após as 16 horas. A PDR foi calculada pela diferença da PNDR, pela fórmula:

$$PDR = PB_{\text{total}} - PNDR$$

### **3.5 Digestibilidade intestinal da proteína**

Após a incubação ruminal, a digestibilidade intestinal dos diferentes materiais foi determinada mediante a aplicação dos procedimentos *in vitro* descritos por González-Galan et al. (2008).

A quantidade de amostra utilizada na digestibilidade intestinal da proteína foi equivalente a 8 mg de N. A amostra contendo 8 mg de N foi acrescida de 10 mL de HCl 0,1N + 0,4 mL de pepsina diluída. Para o controle em cada determinação, foi utilizada a caseína e as enzimas (pepsina e pancreatina), como branco. Em seguida, as amostras foram incubadas a 37 °C sob agitação por 1 hora.

Após a incubação por 1 hora, elevou-se o pH a 7 pela adição de NaOH 0,4N. Logo em seguida, adicionou-se 20 mg de pancreatina em 2mL de tampão fosfato de sódio 0,1N, pH 8,5, em cada amostra, levando à incubação novamente a 37 °C sob agitação por 3 horas seguidas.

A reação enzimática foi encerrada com a adição de ácido tricloroacético (TCA) a 50%, mantendo uma concentração final de 5% de TCA, acarretando a precipitação das proteínas não digeridas. As amostras foram colocadas em banho de gelo por 1 hora, com agitação esporádica.

Logo após, as amostras foram centrifugadas à temperatura ambiente a 4.000 rpm/15 min. O sobrenadante foi colocado em tubo de digestão e levado para o bloco digestor permitindo que parte da solução se evaporasse até aproximadamente 2mL. Em seguida, retirou-se os tubos do bloco digestor para esfriar e adicionar os reagentes para dosagem de N, pelo método Kjeldalh. Depois, as amostras foram submetidas à destilação e o destilado titulado com HCl 0,02N. Posteriormente, foi calculado o teor de nitrogênio total em cada amostra e no branco, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Digestibilidade} = \frac{(V_{\text{HCl amostra}} - V_{\text{HCl branco}}) \times N_{\text{HCl}} \times fc \times 14,007}{8 \text{ mg de N na amostra}} \times 100$$

onde:

$V_{\text{HCl amostra}}$  = volume de HCl gasto na titulação da amostra;

$V_{\text{HCl branco}}$  = volume de HCl gasto na titulação das enzimas;

$N_{\text{HCl}}$  = normalidade de HCl usado na titulação;

fc = fator de correção do HCl usado na titulação.

### **3.6 Delineamento experimental e análise estatística**

Foi utilizado um esquema fatorial que constitui em um delineamento experimental que inclui todas as possíveis combinações entre os níveis dos fatores em estudo, resultando em um esquema fatorial 4x2 com 8 tratamentos, ou seja, 4 co-produtos com 2 tipos de processamento (torta e farelo) mais um tratamento adicional constituído pelo farelo de soja comercial usando um

delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, sendo descrito da seguinte forma:

$$Y_{ij} = \mu + a_i + b_j + ab_{ij} + e_{ij3} \quad \text{onde:}$$

$Y_{ij}$  é a observação no nível  $i$  do fator Alimento no nível  $j$  do fator processamento;

$\mu$  é uma constante;

$a_i$  é o nível  $i$  do fator Alimentos ( $i = 1,2,3,4$ );

$b_j$  é o nível  $j$  do fator Processamento ( $j = 1,2$ );

$ab_{ij}$  é o efeito da interação do nível  $i$  do fator Alimentos com o nível  $j$  do fator Processamento;

$e_{ijk}$  é o erro experimental associado a  $y_{ijk}$ .

O tratamento adicional foi analisado separadamente com fins de comparação aos demais co-produtos e avaliando a confiabilidade da metodologia utilizada. Para a realização das análises, foi utilizado o SISVAR– Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados, (Ferreira, 2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise bromatológica dos co-produtos

Os resultados da análise bromatológica dos co-produtos são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 Composição bromatológica das tortas de tremoço (TT), nabo forrageiro (TN), pinhão manso (TP), algodão (TA), farelos de tremoço (FT), nabo forrageiro (FN), pinhão manso (FP), algodão 38% (FA) e soja 45% (FS) em % MS

Co-prod.	MS*	PB	NDT <sup>1</sup>	EE	FDN	FDA	CNF <sup>2</sup>	MM
%								
T.T	90,53	39,95	88,09	11,65	14,28	11,33	31,35	2,77
T.N	92,20	35,49	97,18	24,32	15,29	13,35	16,62	8,29
T.P	92,83	19,82	66,13	26,19	40,81	38,04	8,21	4,98
T.A	94,18	26,91	49,18	11,26	56,50	37,14	1,14	4,20
F.T	90,95	42,91	66,73	0,74	25,14	20,06	27,78	3,44
F.N	91,68	53,08	66,18	1,54	31,05	20,13	0,37	13,96
F.P	92,39	27,81	27,57	2,38	60,20	52,45	3,23	6,38
F.A	91,60	47,73	65,27	0,91	27,63	19,15	17,22	6,51
F.S	89,00	51,52	78,37	2,02	14,36	12,10	25,79	6,31

\* Com base na matéria natural.

<sup>1</sup> Calculado de acordo com Kears (1982).

<sup>2</sup> Calculado de acordo com NRC (2001).

Os valores de MS encontrados para os dois tipos de processamento não variaram como observado na TABELA 1, demonstrando que as sementes passaram pelo processo de extração de óleo, com uma concentração muito baixa

de água. Valores semelhantes são encontrados em tortas de outras plantas oleaginosas como: 91,45% na torta de babaçu (Souza et al., 2000); 91,87% na torta de mamona e torta de girassol (Costa et al., 2004, 2005).

Analisando o teor de PB dos co-produtos avaliados, a maioria apresentou teores acima de 20%, caracterizando-se como concentrados protéicos. Em relação ao tipo de processamento, os farelos apresentaram maiores teores de PB que as tortas.

O valor de PB observado para a torta de nabo forrageiro (TABELA 1) foi próximo do encontrado por Mello et al. (2008) e acima do relatado por Cleef (2008), que foram de 36,2 e 31,62%, respectivamente. O menor valor foi verificado para a torta de pinhão manso (19,82%), valor este maior que o relatado por Cleef (2008), que foi de 17,44%.

As elevadas concentrações de EE nas tortas se devem à ineficiência do processo de extração mecânica do óleo. A extração com solvente demonstrou ser mais eficiente, originando os farelos. Evangelista et al. (2004) compararam diferentes métodos de extração do óleo (por solvente e mecânica) e concluíram que o método de extração mecânica foi o menos eficiente.

Os valores observados para as tortas de pinhão manso e nabo forrageiro conforme a TABELA 1 ficaram próximos dos encontrados por Cleef (2008) que foram de 27,54 e 26,02% respectivamente, e também próximos dos observados para as tortas de mamona e amendoim que tiveram um valor médio de 21,44%, mostrando que as tortas são ricas em EE (Evangelista et al., 2004).

A utilização de fontes de gordura de origem vegetal, como óleos e sementes oleaginosas, é uma das alternativas empregadas para aumentar a densidade energética na dieta por estar relacionada ao aumento nos teores de NDT.

Considerando que as dietas de ruminantes contêm em média cerca de 3% de lipídios, uma suplementação de gordura deve levar em consideração a

quantidade e fonte de lipídios para que haja efeito mínimo na fermentação ruminal, já que as gorduras insaturadas possuem efeitos inibitórios sobre os microrganismos celulolíticos. Diversos pesquisadores afirmam que teores maiores que 7% de lipídios na ração interferem negativamente na fermentação ruminal (Palmquist, 1989; Jenkins, 1995).

Em relação à FDN, o farelo de pinhão manso apresentou valor elevado, com alta concentração de carboidratos de digestão lenta (celulose, hemicelulose, juntamente com a lignina). O valor de FDN para a torta de pinhão manso (TABELA 1) está abaixo dos valores das tortas de mamona nativa e pinhão manso reportados por Evangelista et al. (2004) e Cleef (2008) que foram de 46,18 e 47,62% respectivamente.

Já a torta de nabo forrageiro apresentou valores abaixo dos encontrados por Cleef (2008) e Mello et al. (2008) que foram de 27,5 e 21,71%, respectivamente.

O aumento progressivo no teor de FDN pode acarretar redução na ingestão de matéria seca em razão do efeito físico de enchimento do rúmen pelo material excessivamente fibroso, reduzindo a taxa de passagem do alimento pelo trato digestivo (Resende et al., 1994). Os valores encontrados neste experimento para a torta de algodão e para o farelo de pinhão manso podem causar redução no consumo de alimentos, uma vez que são valores considerados altos.

O teor de CNF encontrado para a torta de nabo forrageiro foi maior que 12,47% relatado por Cleef (2008). A torta de tremoço foi o co-produto que apresentou o maior valor para CNF, conforme observado na TABELA 1.

Os carboidratos não fibrosos (CNF) são considerados como fonte de energia para os ruminantes, por apresentarem baixa porcentagem de constituintes da parede celular. Os CNF tornam-se disponíveis, indiretamente, na forma de ácidos graxos voláteis (AGV), pela ação microbiana nos

compartimentos fermentativos e, diretamente, pela absorção de seus monômeros constituintes, nos intestinos desses animais (Soest, 1994).

Recomendações norte-americanas indicam que para vacas de alta produção, teores dietéticos mínimos de CNF seriam em torno de 25-30% da matéria seca, enquanto que teores entre 45-50% seriam extremamente altos. O limite superior é ditado pela maior possibilidade de ocorrência de distúrbios relacionados à acidose ruminal, resultado do excesso de carboidratos de fermentação rápida no rúmen (Garrett et al., 1999).

#### **4.2 Degradabilidade e digestibilidade intestinal da proteína**

Em relação à degradabilidade ruminal (DR) da MS, a interação foi significativa mostrando que o tipo de processamento interfere na DR dos co-produtos, onde foram observadas diferenças ( $p < 0,05$ ) para o tremoço, nabo forrageiro e algodão (TABELA 2). O farelo de nabo forrageiro e o farelo de algodão apresentaram melhores degradabilidades em comparação com as tortas dos mesmos co-produtos, sendo que o farelo de tremoço apresentou valores diferentes, onde a torta apresentou melhor degradabilidade.

Comparando os farelos, o farelo de nabo forrageiro foi o co-produto que apresentou maior degradabilidade e a menor ( $p < 0,05$ ) foi observada para o farelo de pinhão manso. As degradabilidades do farelo de nabo forrageiro e da torta de tremoço foram superiores à do farelo de algodão, como observado na TABELA 2, considerando que o teor de DR do farelo de algodão está acima dos observados por Aroeira et al. (1993) e Rodriguez et al. (2003) que foram de 65 e 74,7%, respectivamente, admitindo-se que esta variação provavelmente esteja relacionada ao tipo de processamento do material, pois o farelo de algodão tem variação na porcentagem de fibra.

TABELA 2 Interação entre tortas e farelos dos co-produtos avaliados juntamente com teores de degradabilidade ruminal em 16 horas de incubação, proteína degradada no rúmen (PDR), proteína não degradada no rúmen (PNDR) e digestibilidade intestinal da PNDR (DI)

Variáveis (%)	Proc.	Tratamentos				Fator		Interação	EPM
		Tremoço	Nabo F.	Pinhão M.	Algodão	P	C	PxC	
DR da MS (16 h)	Farelo	83,60 Bb	90,69 Aa	48,97 Ca	85,76 Ba	***	***	***	1,13
	Torta	91,84 Aa	72,83 Bb	47,83 Ca	44,51 Cb				
PDR	Farelo	94,66 Aa	82,49 Ba	96,00 Aa	74,27 Cb	p<0,0012	***	***	0,54
	Torta	93,41 Bb	83,31 Ca	95,92 Aa	82,12 Ca				
PNDR	Farelo	5,34 Cb	17,51 Ba	4,00 Ca	25,73 Aa	p<0,0012	***	***	0,54
	Torta	6,59 Ba	16,69 Aa	4,08 Ca	17,88 Ab				
DI*	Farelo	20,53 Cb	30,38 Bb	2,41 Db	48,02 Aa	***	***	***	0,42
	Torta	39,16 Ba	38,94 Ba	10,18 Ca	48,62 Aa				

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(\*\*\*) =  $p < 0,001$

\* A DI foi corrigida para caseína a 100%.

P = processamento; C = co-produto;

EPM = erro padrão da média.

As letras maiúsculas correspondem à avaliação dos alimentos dentro de um único tipo de processamento e as letras minúsculas comparam cada alimento entre os dois tipos de processamento.

Já para as tortas, a torta de tremço foi a que obteve maior degradabilidade, sendo que os menores teores foram observados para as tortas de pinhão manso e algodão que não diferiram entre si, onde estes teores ficaram próximos de 45,89% encontrados por Pinto et al. (2007) para a degradabilidade da cana de açúcar (TABELA 2). Mello et al. (2008) avaliaram a degradabilidade da torta de nabo forrageiro em diferentes tempos de incubação (3, 6, 12, 24, e 72 horas), onde encontraram valores de 93,8%, portanto, acima dos encontrados neste experimento, que foi de 72,83%, lembrando que o tempo de incubação foi de 16 horas. Para o pinhão manso não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre tortas e farelos com respeito à degradabilidade.

Os co-produtos avaliados apresentaram menores valores de DR em comparação com o farelo de soja que obteve 96,84%, exceto para a torta de tremço, onde não houve diferença significativa, quando avaliado pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que o farelo de soja foi utilizado somente para verificar a confiabilidade da metodologia. Carvalho et al. (2006) encontraram valores semelhantes para a DR que foi de 95,8%, o que demonstra a eficiência do procedimento.

A baixa degradabilidade ruminal relacionada ao tempo de 16 horas de incubação, conforme metodologia descrita por Calsamiglia & Stern (1995), observada para as tortas de nabo forrageiro, pinhão manso e algodão pode estar relacionada com o alto teor de EE ou com a qualidade dos lipídeos, pois os tipos de lipídeos empregados nas dietas podem influenciar a fermentação e a digestibilidade ruminal da fibra, por meio da supressão das bactérias celulolíticas e metanogênicas (Palmquist & Jenkins, 1980; Chalupa et al., 1984; Soest, 1994). A redução da DR pode ser considerada um mecanismo físico de recobrimento da fibra com gordura, dificultando o ataque microbiano e provocando efeitos tóxicos diretamente sobre certos microrganismos, além de redução na disponibilidade de cátions por se combinarem com os ácidos graxos

(Palmquist & Jenkins, 1980; Grummer et al., 1990). Para a torta de tremoço não houve influência do teor de EE, pois o comportamento foi contrário.

A baixa degradabilidade dos co-produtos avaliados também pode estar relacionada à menor qualidade das fibras, ou seja, dos componentes da parede celular, o que pode estar relacionado com a baixa DR do pinhão manso. A lignina, pela ligação aos carboidratos da parede celular, previne a expansão e, conseqüentemente, deprime a digestibilidade da fibra (Továr-Gomez et al., 1997).

Os co-produtos tremoço e algodão apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao tipo de processamento para a PDR, onde o farelo de tremoço apresentou maior porcentagem de PDR em comparação com a sua torta, e, para o algodão, a torta apresentou maior porcentagem de PDR (TABELA 2). Para o nabo forrageiro e o pinhão manso não houve interferência do tipo de processamento ( $p > 0,05$ ).

A torta de nabo forrageiro apresentou teor de PDR bem abaixo do encontrado por Mello et al. (2008) que foi de 97,4% (TABELA 2). Esta diferença se deve, provavelmente, ao tempo de incubação, onde o presente experimento utilizou-se de apenas um tempo de incubação, o que também pôde ser observado para a degradabilidade.

Entre os farelos, a porcentagem de PDR foi maior para o tremoço e para o pinhão manso, não apresentando diferenças entre eles ( $p > 0,05$ ). Entre todos os co-produtos avaliados, o farelo de algodão foi o que apresentou o menor valor para PDR (74,27%), diferindo dos demais co-produtos ( $p < 0,05$ ). A baixa porcentagem de PDR para o farelo de algodão se deve ao tipo de processamento do material, pois se trata de uma fonte comercial onde a composição química é variável dependendo da variedade plantada e da quantidade de cascas extraídas durante o processo, sendo que este valor foi bem próximo do encontrado por Rodriguez et al. (2003), onde a PDR foi de 75,87%. Cabral et al. (2001)

encontraram valor diferente, com 64,71% de PDR, sendo esta diferença relacionada com o tipo de farelo utilizado, pois existe uma variação grande na quantidade de fibras encontradas, o que vai interferir no teor de PB final. Aroeira et al. (1993) e Cunha et al. (1998), utilizando um tempo maior de incubação ruminal, reportaram valores de 89,7 e 93,49%, acima dos encontrados neste experimento para o farelo de algodão como observado na TABELA 2.

Para as tortas, a de pinhão manso foi a que apresentou a maior porcentagem de PDR diferindo ( $p < 0,05$ ) das demais, sendo que as menores porcentagens foram observadas para a de nabo forrageiro e a de algodão que não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ).

As tortas e os farelos dos co-produtos avaliados caracterizam-se por serem alimentos com alta porcentagem de PDR em comparação ao farelo de soja com valor de 62,88 %, sendo que o farelo e a torta de pinhão manso e o farelo de tremoço apresentaram maiores teores de PDR, conforme observado na TABELA 2. A elevada degradação da PDR observada nestes co-produtos merece atenção especial quando forem utilizadas em proporções significativas na dieta, uma vez que pode conduzir a grandes perdas de nitrogênio no rúmen, tornando necessária a inclusão de fontes energéticas de rápida degradação ruminal.

O valor de PDR obtido para o farelo de soja ficou muito próximo do observado por Boer et al. (1987) que foi de 67,0%. Já outros autores, Cabral et al. (2001) e Branco et al. (2002), encontraram valores de 50,2 e 78,96%, respectivamente, onde esta variação pode ser atribuída às fontes e ao tipo de processamento dos farelos.

Os co-produtos do tremoço, nabo forrageiro e farelo de algodão, tiveram elevada e rápida degradação ruminal da MS e PB, demonstrando serem ingredientes capazes de atender prontamente a demanda microbiana, como fonte de energia e proteína, podendo ser utilizados para maximizar o desenvolvimento microbiano.

Os co-produtos tremoço e algodão apresentaram diferença significativa em relação ao tipo de processamento para a PNDR, onde a torta de tremoço apresentou maior porcentagem de PNDR em comparação com o seu farelo, e, para o algodão, o farelo apresentou maior porcentagem de PNDR, como observado na TABELA 2. O teor de PNDR encontrado para o farelo de algodão mostrou estar bem próximo do encontrado por Rodriguez et al. (2003), onde a PNDR foi de 24,13%. Cabral et al. (2001) encontraram valor diferente para este co-produto (35,29% de PNDR), sendo esta diferença relacionada com o tipo de processamento ou beneficiamento do co-produto. Para o nabo forrageiro e pinhão manso não houve interferência do tipo de processamento ( $p > 0,05$ ).

Entre todos os co-produtos avaliados, a torta de pinhão manso e os farelos de tremoço e pinhão manso foram os que apresentaram os menores valores para PNDR (TABELA 2). Isso se deve à alta porcentagem de PDR dos co-produtos, sendo que os farelos de tremoço e pinhão manso não apresentaram diferença significativa entre si.

Para as tortas, a de nabo forrageiro e algodão apresentaram maior porcentagem de PNDR diferindo ( $p < 0,05$ ) das demais, sendo que a menor porcentagem foi observada para a de pinhão manso. De acordo com a TABELA 2, as maiores porcentagens de PNDR verificadas para o farelo e torta de nabo forrageiro e a torta de algodão resultaram em maior disponibilidade da proteína no intestino.

Em contrapartida, todos os co-produtos demonstraram terem menores porcentagens de PNDR, em comparação com o farelo de soja que obteve 37,12% e o farelo de algodão comercial (TABELA 2).

Campos et al. (2007), avaliando o farelo de soja, observaram que a PNDR foi de 5,8%, bem próximo dos valores encontrados para as tortas e farelos de tremoço e pinhão manso no presente trabalho. Segundo Casamiglia & Stern (1995), esta variação no farelo de soja se deve aos diferentes potenciais de

degradação ruminal, uma vez que pode ser influenciado diretamente pelo processamento térmico que o alimento sofre durante a extração do óleo do grão de soja.

Com respeito à digestibilidade intestinal (DI) da proteína, houve diferenças significativas entre farelos e tortas, proporcionando alta interação entre os tipos de processamento. A interação entre os tipos de processamento pode ser verificada em relação ao tremoço, nabo forrageiro e pinhão manso. Para o algodão, não se observou diferença entre os tipos de processamento. Tanto o farelo quanto a torta apresentaram os maiores valores para DI, com diferenças entre os demais co-produtos ( $p < 0,05$ ). Ainda que sejam os maiores valores obtidos neste estudo para a DI da proteína em comparação com os co-produtos do biodiesel, mesmo assim foram inferiores ao valor de 53,66% relatado por Cabral et al. (2001), para o farelo de algodão, fato este podendo estar relacionado à elevada degradação ruminal dessa fonte. Entre as tortas, a de tremoço e nabo forrageiro não diferiram entre si (TABELA 2).

As menores porcentagens de DI foram verificadas para o pinhão manso tanto para o farelo quanto para a torta. Branco et al. (2006), em sementes de girassol obtiveram valores de PNDR de 4,87%, próximo do pinhão manso e valores consideravelmente altos para DI 54,67%, portanto a baixa digestibilidade não está relacionada com a quantidade de proteína que escapa da degradação ruminal, mas com a qualidade dessa proteína presente no intestino delgado, sendo que a presença de fatores antinutricionais pode também contribuir com a baixa DI.

Em comparação com o farelo de soja, os co-produtos do biodiesel apresentaram menores DI, diferindo ( $p < 0,05$ ) do farelo de soja que possui 81,35%, estando este valor bem próximo dos obtidos por Calsamiglia & Stern (1995) e Cabral et al. (2001), que encontraram valores de 82,8% e 82,68%, respectivamente, mostrando que a metodologia utilizada neste experimento foi

eficaz na determinação da DI, sabendo que estes autores utilizaram uma técnica *in vitro* (Três Estágios). Estes valores observados para o farelo de soja foram abaixo daqueles verificados por Boer et al. (1987) e Vargas Júnior et al. (2002), os quais encontraram valores da ordem de 97,2 e 88,56%, respectivamente. Pereira et al. (2008) encontraram valores menores aos observados neste experimento, ou seja, 73,06% contra 81,35% para o farelo de soja. Tais diferenças possivelmente possam ser atribuídas à variação das diferentes fontes utilizadas e também a falhas nos diferentes métodos de determinação da digestibilidade intestinal, uma vez que a metodologia utilizada por Boer et al. (1987) e Vargas Júnior et al. (2002) foi a técnica do saco de náilon móvel, onde as maiores estimativas de DI podem ser atribuídas ao efeito da fermentação microbiana no intestino grosso sob a proteína não digerida no intestino delgado presente nos sacos de náilon.

A baixa DI observada para os co-produtos do biodiesel contribui com menor disponibilidade de aminoácidos para absorção no intestino delgado. Este fato pode ser atribuído à elevada degradação ruminal destes alimentos, podendo ser sugerido que a proteína que escapa à degradação ruminal esteja associada à porção fibrosa, o que explica a baixa digestão no intestino delgado, como observado na FIGURA 1. Para os co-produtos do pinhão manso existe outro fato que pode estar relacionado com a baixa digestibilidade intestinal, que é a presença de um fator antinutricional altamente tóxico, o forbol (Makkar & Becker, 1998; Makkar et al., 1998).

Vários trabalhos vêm contribuindo para demonstrar que a atividade tóxica das sementes e do óleo do pinhão manso deve-se à presença de ésteres de forbol e não à curcina como se pensava anteriormente. Os ésteres de forbol são uma complexa mistura de ésteres do forbol tetracíclico diterpeno, eles apresentam atividades carcinogênicas e ação inflamatória (Makkar & Becker, 1998; Makkar et al., 1998).

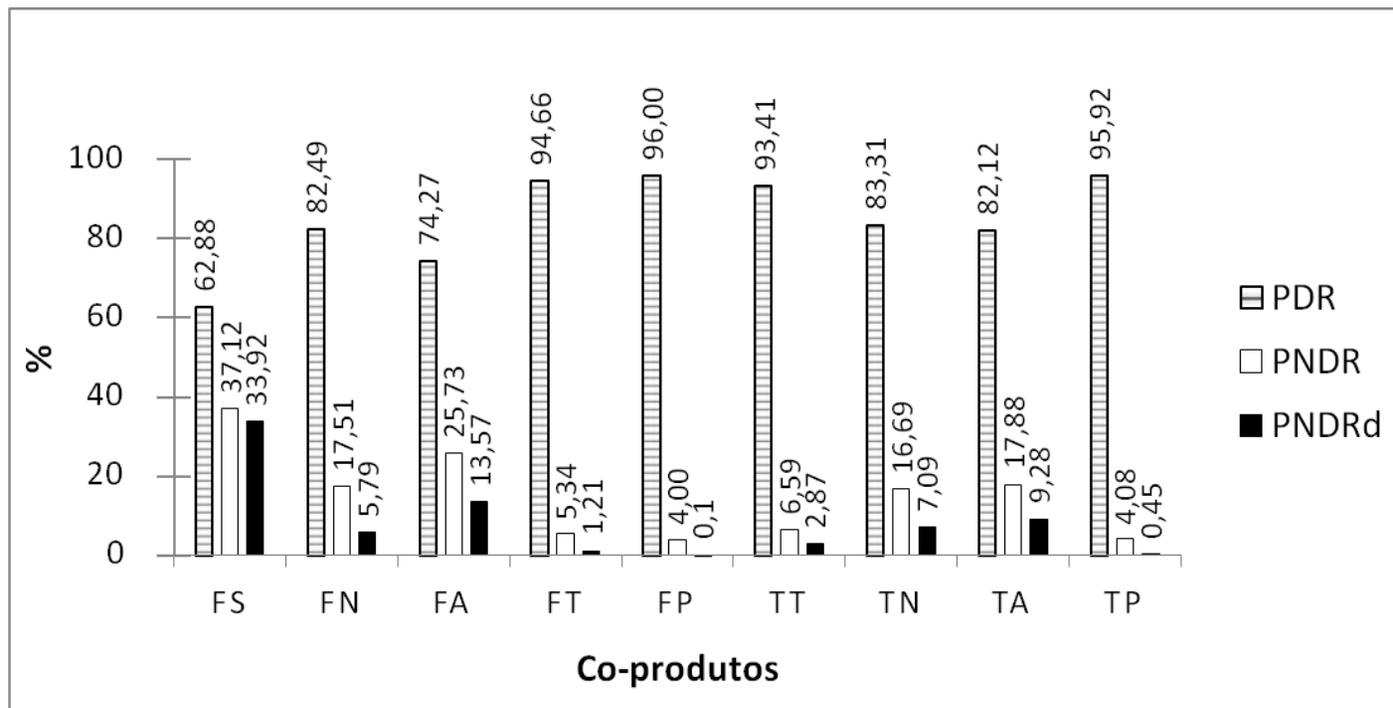


FIGURA 1 Proporções relativas da proteína degradada no rúmen (PDR), proteína não degradada no rúmen (PNDR), e proteína não degradada no rúmen digestível no intestino delgado (PNDR<sub>d</sub>), do farelo de soja (FS), farelo de nabo forrageiro (FN), farelo de algodão (FA), farelo de tremoço (FT), farelo de pinhão manso (FP), torta de nabo forrageiro (TN), torta de tremoço (TT), torta de algodão (TA) e da torta de pinhão manso (TP) em relação à proteína bruta total dos co-produtos.

## **5 CONCLUSÕES**

Todos os co-produtos avaliados se caracterizaram em serem alimentos de alto teor protéico, sendo considerados de alta PDR. Os co-produtos apresentaram baixa digestibilidade intestinal da proteína. A digestibilidade intestinal da proteína dos co-produtos do biodiesel nas formas de torta e farelo foi maior para as tortas em comparação aos farelos. Dos co-produtos avaliados, a torta e o farelo de algodão apresentaram os maiores coeficientes de digestibilidade intestinal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADERIBIGBE, A. O.; JOHNSON, C. O. L. E.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; FOIDL, N. Chemical composition and effect of heat on organic matter-and nitrogen-degradability and some antinutritional components of *Jatropha* meal. **Animal Feed Science and Technology**, Stuttgart, v. 67, p. 223-243, July 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Biodiesel**: estratégias para produção e uso no Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE BIODIESEL: ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO E USO NO BRASIL, 2005, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: Unicorp, 2005. p. 1-23.

ALMEIDA, M. J. **Tremoço, o fiel amigo**. 1999. Disponível em: <<http://primeirasedicoes.expresso.pt/ed1397/v161.asp?il>>. Acesso em: 12 nov. 2008.

AREGHEORE, E. M.; BECKER, K.; MAKKAR, H. P. S. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. **South Pacific Journal of Natural Science**, Stuttgart, v. 21, p. 50-56, 2003.

AROEIRA, L. J. M.; SILVEIRA, M. I.; LIZIEIRE, R. S.; MATOS, L. L.; FIGUEIRA, D. G. Degradabilidade no rúmen e taxa de passagem da cana-deaçúcar mais uréia, do farelo de algodão e do farelo de arroz em novilhos mestiços europeu x zebú. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 552-564, 1993.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of the Association of Official Agricultural Chemists**. 11. ed. Washington, 1990. 1015 p.

BELYEA, R. L.; STEVENS, B. J.; RESTREPO, R. J.; CLUBB, A. P. Variation in composition of by-product feeds. **Journal of Dairy Science**, Columbia, v. 72, n. 9, p. 2339-2345, Mar. 1989.

BERCHIELLI, T.; GARCIA, A.; OLIVEIRA, S. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 397-421.

BOER, G. de; MURPH, J. J.; KENNELLY, J. J. Mobile nylon bag for estimating intestinal availability of rumen undegradable protein. **Journal of Dairy Science**, Edmonton, v. 70, n. 5, p. 977-982, Dec. 1987.

BRANCO, A. F.; CONEGLIAN, S. M.; MAIA, F. J.; GUIMARÃES, K. C. Digestibilidade intestinal verdadeira da proteína de alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1788-1795, 2006.

BRANCO, A. F.; MAIA, F. J.; MOURO, G. F.; GUIMARÃES, K. C.; FERREIRA, R. A. Avaliação da digestibilidade intestinal verdadeira da proteína de diferentes alimentos, em bovinos, usando métodos enzimáticos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife, PE. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. CD-ROM.

BRAND, T. S.; FRANK, F.; DURAND, A.; COETZEE, J. Intake and production of ewes grazing oat stubble supplemented with sweet lupin (*Lupinus albus*) seed. **Small Ruminant Research**, South Africa, v. 26, p. 93-103, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia – 2006 – 2011**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005a. 118 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Aspectos tecnológicos do biodiesel**. Brasília, 2005b. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2007.

BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: CBNA, 2002. 430 p.

CABRAL, C. S.; VALADARES FILHO, S. C.; MALAFAIA, P. A. Estimação da digestibilidade intestinal da proteína de alimentos por intermédio da técnica de três estádios. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 546-552, mar./abr. 2001.

CALSAMIGLIA, S.; STERN, M. D. A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. **Journal of Animal Science**, Minnesota, v. 73, n. 5, p. 1459-1465, 1995.

CAMPOS, W. E.; BORGES, A. L. C. C.; SATURNINO, H. M.; SILVA, R. R.; SALIBA, E. O. S.; RODRÍGUEZ, N. M.; SOUZA, B. M.; ROGÉRIO, M. C. P. Digestibilidade da proteína de alimentos utilizados na alimentação de ruminantes pelo método das três etapas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 8, n. 4, p. 295-302, out./dez. 2007.

CARDOSO, E. G. Subprodutos do algodão como alimento animal. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2001. p. 278-296.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. 2003. Disponível em: <[www.ufmg.br/boletim/bul1413](http://www.ufmg.br/boletim/bul1413)>. Acesso em: 15 set. 2008.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; SILVA, R. R.; MENDES, F. B. L.; SOUZA, D. R. de; PINHEIRO, A. A. Degradabilidade ruminal de concentrados e subprodutos agroindustriais. **Archivos de Zootecnia**, Itapetinga, v. 55, n. 212, p. 397-400, nov. 2006.

CENTRO BRASILEIRO DE REFERÊNCIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS; INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ. **Relatório técnico interno de caracterização de óleos vegetais e biodiesel**. 2007. Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio>>. Acesso em: 10 set. 2008.

CHALUPA, W.; RICKABAUGH, B.; KRONFELD, D. S.; SKLAN, D. Rumen fermentation in vitro as influenced by long chain fatty acids. **Journal of Dairy Science**, Pennsylvania, v. 67, n. 7, p. 1439-1444, Aug. 1984.

CHASE, L. E. Where do fibrous by-products fit in dairy ration? In: \_\_\_\_\_. **Cornell nutrition conference for feed manufactures**. Ithaca: Cornell University, 1995. p. 138-148.

CHURCH, D. C.; POND, W. G. **Bases científicas para la nutrición y alimentación de los Animales domésticos**. Zaragoza: Acribia, 1977. 462 p.

CLARK, J. H.; KLUSMEYER, T. H.; CAMERON, M. R. Microbial protein synthesis and flow of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. **Journal Dairy Science**, Illinois, v. 75, n. 8, p. 2304-2323, Jan. 1992.

CLARK, P. W.; ARMENTANO, L. E. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, p. 2644-2650, 1993.

CLEEF, E. H. C. B. van. **Tortas de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e de pinhão manso (*Jatropha curcas*): caracterização e utilização como aditivos na ensilagem de capim elefante**. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Ruminantes) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CONRAD, H. R.; PRATT, A. D.; HIBBS, J. W. Regulation of feed intake in dairy cows: I, change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. **Journal Dairy Science**, Wooster, v. 47, n. 1, p. 54-62, Jan. 1964.

CONRAD, H. R. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: physiological and physical factors limiting feed intake. **Journal Animal Science**, Wooster, v. 25, n. 1, p. 227-235, July 1966.

COSTA, A. Agronomia aplicada às matérias primas para a produção de biodiesel. In: SEMINÁRIO DE BIODIESEL, 1., 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: IAPAR, 2003. Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio/Palestras/17%20-%20A%20Costa-IAPAR-Agronomia.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2008.

COSTA, F. X.; SEVARINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Composição química da torta de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA: ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa/CNPA, 2004. Não paginado.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233 p.

COSTA, M. C. R.; SILVA, C. A.; PINHEIRO, J. W.; FONSECA, N. A. N.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V.; BELÉ, J. C.; BOROSKY, J. C.; MOURINHO, F. L.; AGOSTINI, P. S. Utilização da torta de girassol na alimentação de suínos nas fases de crescimento e terminação: efeitos no desempenho, nas características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1581-1588, set./out. 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R. de C. F.; LIMA, E. do V.; TIRITAN, C. S. Doses de fósforo e crescimento radicular de cultivares de arroz de terras altas. **Campinas**, Bragantia, v. 64, p. 643-649, 2005.

CUNHA, J. A.; MELOTTI, L.; LUCCI, C. S. Degradabilidade no rúmen da matéria seca e da proteína do caroço integral e do farelo de algodão (*Gossypium hirsutum*) pela técnica dos sacos de náilon *in situ* com bovinos. **Brazilian Journal of Veterinary Research Animal Science**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 96-100, 1998.

DERVAS, G.; DOXASTAKIS, G.; ZINOVIADI, S.; TRIANDATA, L. L. N. Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties. **Food Chemistry**, Stuttgart, v. 66, n. 1, p. 67-73, July 1999.

DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M.; RAMOS, L. P. Processo de etanólise em meio alcalino do óleo bruto de nabo forrageiro. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 1., 2006, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Ministério da Ciência e da Tecnologia, 2006. p. 187-192.

ELIMAN, M. E.; ØRSKOV, E. R. Factors affecting the outflow of protein supplements from the rumen: 1., feeding level. **Animal Production**, Northern Ireland, v. 38, n. 1, p. 45-51, 1984.

ENSMINGER, M. E.; OLDFIELD, J. E.; HEINEMANN, W. W. **Feeds and nutrition**. 2. ed. Clovis: Ensminger, 1990. 1544 p.

ERISMANN, N. M.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; TEIXEIRA, J. P. F.; KONDO, J. I.; CIA, E.; AZZINI, A. Estudo da correlação entre o teor de óleo na semente e as características agrônômicas e a qualidade da fibra do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., 1999, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: Embrapa, 1999. p. 660-662.

EVANGELISTA, A. R.; ABREU, J. G.; PERON, A. J.; FRAGA, A. C.; CASTRO NETO, P. Composição química de tortas de amendoim (*Arachis hipogaeae* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.) obtidas por diferentes métodos de extração de óleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEOGINOSAS, ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL, 1., 2004, Varginha, MG. **Anais...** Varginha: Ufla, 2004. p. 1-4.

FALUYI, M. A.; ZHOU, X. M.; ZHANG, F.; LEIBOVITCH, S.; MIGNER, P.; SMITH, D. L. Seed quality of sweet white lupin (*Lupinus albus*) and management practice in eastern Canada. **European Journal of Agronomy**, Nigeria, v. 13, n. 1, p. 7-37, July 2000.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para o windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: SIB, 2000. p. 255-258.

FERRES, D. Análise integrada dos custos de produção e comercialização do biodiesel no Brasil. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE BIODIESEL, 2003, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: Abiove/Teccar, 2003. CD-ROM.

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D. E. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 1-23.

GARGALLO, S.; CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A. Technical note: a modified three-step in vitro procedure to determine intestinal digestion of proteins. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 8, p. 2163-2167, Mar. 2006.

GARRET, E. F.; PEREIRA, M. N.; NORDLUND, K. V.; ARMENTANO, L. E.; GOODGER, W. J.; OETZEL, G. R. Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Wisconsin, v. 82, n. 6, p. 1170-1178, Feb. 1999.

GONZÁLEZ-GALAN, A.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; BARCELOS, M. de F. P. Caracterización química de la casina del fruto de *Prosopis* spp. procedente de Bolivia y Brasil. **Archivos Latino americanos de Nutrición**, Venezuela, v. 58, n. 3, p. 309-315, 2008.

GONZÁLEZ, J. Provechamiento intestinal de la proteína de los alimentos en rumiantes. In: CURSO DE ESPECIALIZACIÓN FEDNA, 12., 2006, Barcelona. **Memórias...** Barcelona: FEDNA, 2006. p. 203-216.

GRASSER, L. A.; FADEL, J. G.; GARNETT, I.; DEPETERS, E. J. Quantity and economic importance of nine selected by-products used in California dairy rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 78, n. 4, p. 962-971, Nov. 1995.

GRUMMER, R. R.; HATFIELD, M. L.; DENTINE, M. R. Acceptability of fat supplements in four dairy herds. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 73, n. 3, p. 852-857, Sept. 1990.

HAUGEN, H. L.; IVAN, S. K.; MACDONALD, J. C.; KLOPFENSTEIN, T. J. Determination of undegradable intake protein digestibility of forages using the mobile nylon bag technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 4, p. 886-893, Nov. 2006.

HELLER, J. **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 66 p.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília, DF: Coordenação de Publicações, 2006. 55 p. (Série cadernos de altos estudos, 1).

HUSSEIN, A. M.; ROSS, M.; VREDENBURGH, J.; MEISENBERG, B.; HARS, V.; GILBERT, C.; PETROS, W. P.; CONIGLIO, D.; KURTZBERG, J.; RUBIN, P.; PETERS, W. P. Effects of granulocyte-macrophage colony stimulating factor produced in CHO cells (regramostim), *Escherichia coli* (molgramostim) and yeast (sargramostim) on priming peripheral blood progenitor cells for use with autologous bone marrow after high-dose chemotherapy. **European Journal of Haematology**, v. 54, n. 5, p. 281-287, Nov. 1995.

INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM. **Search in plant kingdom for scientific name exactly for '*Raphanus sativus*'**. Disponível em: <<http://www.itis.usda.gov/index.html>>. Acesso em: 10 mar. 2007.

JENKINS, T. C. Lipid metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 12, p. 3851-3863, Sept. 1995.

JONES, D. I. H.; THEODOROU, M. K. Enzymes techniques for estimating digestibility. In: GIVENS, D. J.; AXFORD, R. F. E.; OMED, H. M. **Forage evaluation in ruminant**. Wallingford: CABI, 2000. p. 155-173.

KEARL, L. **Nutrients requirements of ruminant in development countries**. Logan: Utah State University, 1982. 381 p.

LEGLEITER, L. R.; MULLER, A. M.; KERLEY, M. S. Level of supplemental protein does not influence the ruminally undegradable protein value. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 4, p. 863-870, Dec. 2005.

LENG, R. A. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. **Nutrition Research Reviews**, Sydney, n. 3, p. 277-300, 1990.

MAKKAR, H. P. S.; ADERIBIGBE, A. O.; BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. **Food Chemistry**, Stuttgart, v. 62, n. 2, p. 207-218, June 1998.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds. **Journal of Animal Sciences**, Champaign, v. 12, n. 3, p. 467-480, Oct. 1998.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K.; SPORER, F.; WINK, M. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Heidelberg, v. 45, n. 8, p. 3152-3157, Aug. 1997.

MANDARINO, J. M. G. **Coloração esverdeada nos grãos de soja e seus derivados**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 4 p. (Embrapa Soja. Comunicado técnico, 77).

MANUCCI, F.; DI FRANZIA, A.; ROMANO, R.; MARESCA, M. T.; LAMBIASE, G.; VARRICCHIO, M. L.; PROTO, V. Effect of *Lupinus albus* as protein supplement on yield, constituents, clotting properties and fatty acid composition in ewes' milk. **Small Ruminant Research**, Rome, v. 65, n. 3, p. 251-259, Oct. 2006.

MARTINEZ-HERRERA, J.; SIDDHURAJU, P.; FRANCIS, G. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemintry**, Stuttgart, v. 96, n. 1, p. 80-89, May 2006.

MATOS, E. **Torta de algodão**. Disponível em: <<http://sbirt.ibict.br>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

McNIVEN, M. A.; PRESTLOKKEN, E.; MIDLAND, L. T.; MITCHELL, A. W. Laboratory procedure to determine protein digestibility of heat-treated feedstuffs for dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology**, Norway, v. 96, p. 1-13, Mar. 2002.

McQUEEN, R.; SOEST, P. J. van. Fungal cellulase and hemicellulase prediction of forage digestibility. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 58, n. 10, p. 1482-1491, Oct. 1971.

MELLO, D. F.; FRANZOLIN, R.; FERNANDES, L. B.; FRANCO, V. M. A.; ALVES, T. C. Avaliação do resíduo de nabo forrageiro extraído da produção de biodiesel como suplemento para bovinos de corte em pastagens. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 45-56, jan./mar. 2008.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 6. ed. rev. Washington: National Academic, 1989. 157 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of beef cattle**. 7. ed. rev. Washington: National Academic, 1996. 242 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 9. ed. rev. Washington: National Academic, 2001. 381 p.

OLIVEIRA, R. B.; GODOY, S. A. P.; COSTA, F. B. **Plantas tóxicas:** conhecimento para a prevenção de acidentes. Ribeirão Preto: Holos, 2003. v. 1, 64 p.

PALMQUIST, D. L.; JENKINS, T. C. Fat in lactation rations: review. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 63, n. 1, p. 1-14, Aug. 1980.

PALMQUIST, D. L. Suplementação de lipídios para vacas em lactação. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 6., 1989, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1989. p. 11-25.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel:** uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68 p.

PASSOS, S. M. G. **Algodão.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. 424 p.

PAULINO, P. V. R.; PORTO, M. O.; OLIVEIRA, A. S.; SALES, M. F. L.; MORAES, K. A. K. Interação lavoura-pecuária: utilização do pasto e subprodutos. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 5., 2006, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 2006. p. 157-219.

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas.** São Paulo: Nobel, 1973. 284 p.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão.** Belo Horizonte: FAPI, 2006. 150 p.

PEREIRA, E. S.; ARRUDA, A. M. V. de; MIZUBUTI, I. Y.; VILLARROEL, A. B. S.; PIMENTEL, P. G. Determinação da digestibilidade intestinal de alimentos pela técnica de três estágios. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 401-410, abr./jun. 2008.

PINTO, A. P.; MIZUBUTI, I. Y.; RIBEIRO, E. L. A.; ROCHA, M. A.; SILVA FILHO, M. F.; KURAOKA, J. T. Degradabilidade ruminal da cana-de-açúcar integral tratada com diferentes níveis de hidróxido de sódio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 503-512, jul./set. 2007.

PORTELA, F. A. Metabolismo de proteínas. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 255-284.

PURCINO, A. A. C.; DRUMMOND, O. A. **Pinhão manso**. Belo Horizonte: Epamig, 1986. 7 p.

PUTNAM, D. H.; OPLINGER, E. S.; HARDMAN, L. L.; DOLL, J. D. **Lupine**. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/lupine.html>>. Acesso em: 22 out. 2008.

REESE, E. T.; MANDELS, M. Enzymatic hydrolysis of cellulose and its derivatives. In: WHISTLER, R. L.; WOLFROM, M. L.; BEMILLER, J. N.; SHAFIZADEH, F.; SHAW, D.; MANNERS, D. J.; ROBERT, J. **Methods in carbohydrate chemistry**. Whistler: Academic, 1963. p. 139-143.

RESENDE, F. D.; QUEIROZ, A. C.; FONTES, C. A. A.; PEREIRA, J. C.; RODRIGUES, L. R. R.; JORGE, A. M.; BARROS, J. M. S. Rações com diferentes níveis de fibra em detergente neutro na alimentação de bovídeos em confinamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 366-376, 1994.

RICHETTI, A.; MELO FILHO, G. A. de. Aspectos socioeconômicos do algodoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa-CPAO, 2001. p. 13-34.

RODRIGUEZ, N. M.; MOREIRA, J. F. C.; FERNANDES, P. C. C.; VELOSO, C. M.; SALIBA, E. O. S.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; BORGES, A. L. C. C. Concentrados protéicos para bovinos: 2., digestão pós-ruminal da matéria seca e da proteína. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 55, n. 3, p. 324-333, jun. 2003.

ROHR, R. **Óleos e gorduras vegetais seus subprodutos protéicos**. 4. ed. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1978. 190 p.

RYMER, C. The measurement of forage digestibility *in vivo*. In: GIVENS, D. J.; AXFORD, R. F. E.; OMED, H. M. **Forage evaluation in ruminant**. Wallingford: CABI, 2000. p. 113-132.

SANTOS, F. A. P. Metabolismo de proteínas. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 255-286.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatrofa curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, out. 2005.

SAUER, W. C.; DEN HARTOG, L. A.; HUISMAN, J.; LEEUWEN, P. van; LANGE, C. F. M. de. The evaluation of the mobile nylon bag technique for determining the apparent protein digestibility in a wide variety of feedstuffs for pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 67, n. 2, p. 432-440, Aug. 1989.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235 p.

SOEST, P. J. van. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 26, n. 1, p. 119-128, Jan. 1967.

SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Corvalis: Books, 1994. 476 p.

SOUZA, J. R. S. T.; CAMARÃO, A. P.; RÊGO, L. C. Degradabilidade ruminal da matéria seca e proteína bruta de subprodutos da agroindústria, da pesca e de abatedouros, em caprinos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 358-363, set. 2000.

STERN, M. D.; BACH, A.; CALSAMIGLIA, S. New concepts in protein nutrition of ruminants. In: ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE, 21., 2006, Tempe. **Mettings...** Tempe, 2006. p. AZ45-AZ66.

STRAALEN, W. M. van; DOOPER, F. M. H.; ANTONIEWICZ, A. M.; KOSMALA, I.; VUUREN, A. M. van. Intestinal digestibility and clover measured and other methods in dairy cows of protein from grass with mobile nylon bag. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 10, p. 2970-2981, May 1993.

TEAGUE AUSTRALIA PTY LTD. **Albus lupins**. 2000. Disponível em: <[http://www.tjt.com.au/tjt/facts.stm?facts\\_id=25](http://www.tjt.com.au/tjt/facts.stm?facts_id=25)>. Acesso em: 19 out. 2008.

TICE, E. M.; EASTRIDGE, M. L.; FIRKINS, J. L. Raw soybean and roasted of different particle size, 2, fatty acid utilization in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 1, p. 166-180, July 1994.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, Oxford, v. 18, n. 2, p. 104-111, Feb. 1963.

TOMÁNKOVÁ, O.; HOMOLKA, P. Intestinal digestibility of crude protein in concentrates determined by a combined enzymatic method. **Czech Journal Animal Science**, Uhřetěves, v. 47, n. 1, p. 15-20, Jan. 2002.

TOVAR-GÓMEZ, M. R.; EMILE, J. C.; MICHALET-DOREAU, B.; BARRIÈRE, Y. In situ degradation kinetics of maize hybrid stalks. **Animal Feed Science and Technology**, Lusignan, v. 68, p. 77-88, Sept. 1997.

VARGA, G. A.; DANN, H. M.; ISHLER, V. A. The use of fiber concentration for ration formulation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 11, p. 3063-3074, Jan. 1998.

VARGAS JÚNIOR, F. M.; OLIVEIRA, M. V. M. de; SANCHEZ, L. M. B.; PARIS, W.; FRIZZO, A.; HAYGERT, I. M. P.; MONTAGNER, D.; WEBER, A.; CERTÓTES, L. Degradabilidade ruminal e digestibilidade intestinal de alimentos através da técnica in situ associada a do saco de náilon móvel. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife, PE. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. CD-ROM.

WIENBERG, Z. G. Bioconservation of agricultural by-products by ensiling. In: SIMPÓSIO SOBRE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: Embrapa, 1992. p. 189-190.

ZANELLA, J. Biodiesel. **Jornal UNESP**, v. 9, n. 202, jul. 2005. Disponível em: <<http://www.unesp.br/aci/jornal/202/biodiesel.php>>. Acesso em: 6 jul. 2007.

## ANEXOS

TABELA 1A Resumo da análise de variância para as variáveis: Degradabilidade *in situ* da matéria seca em 16 horas de incubação (DE) e Proteína degradável no rúmen (PDR), em porcentagem, segundo os tratamentos estudados para os subprodutos

Fonte de Variação	gl	Quadrado Médio (p-valor)	
		DE	PDR
Tratamentos	(8)	3514,131 (p < 0,0000)	373,096(p < 0,0000)
Processamentos	1	2704,650 (p < 0,0000)	13,665 (p < 0,0012)
Alimentos	3	5014,977 (p < 0,0000)	411,012 (p < 0,0000)
A x P	3	1884,481 (p < 0,0000)	21,409 (p < 0,0000)
Test.(FS) x Fatorial	1	4710,020 (p < 0,0000)	1673,841 (p < 0,0000)
Resíduo	18	9,2460	0,7835
CV (%)		4,13	1,04

TABELA 2A Resumo da análise de variância para as variáveis: Proteína não degradável no rúmen (PNDR) e Digestibilidade intestinal da proteína (DI), em porcentagem, segundo os tratamentos estudados para os subprodutos

Fonte de Variação	gl	Quadrado Médio (p-valor)	
		PNDR	DI
Tratamentos	(8)	373,096(p < 0,0000)	1671,385 (p < 0,0000)
Processamentos	1	13,665 (p < 0,0012)	473,926 (p < 0,0000)
Alimentos	3	411,012 (p < 0,0000)	1838,100 (p < 0,0000)
A x P	3	21,409 (p < 0,0000)	82,483 (p < 0,0000)
Test.(FS) x Fatorial	1	1673,841 (p > 0,0000)	7135,406 (p < 0,0000)
Resíduo	18	0,783	0,481
CV (%)		5,96	1,95