

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS TANCREDO DE ALMEIDA NEVES
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

**DEGRADABILIDADE *IN SITU* DA FIBRA DA PALHA DE MILHO TRATADA
COM ÓXIDO DE CÁLCIO**

ANDRÉA APARECIDA ROSA

SÃO JOÃO DEL REI –MG

FEVEREIRO DE 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS TANCREDO DE ALMEIDA NEVES
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

**DEGRADABILIDADE *IN SITU* DA FIBRA DA PALHA DE MILHO TRATADA
COM ÓXIDO DE CÁLCIO**

ANDRÉA APARECIDA ROSA
Graduanda em Zootecnia

SÃO JOÃO DEL REI-MG

FEVEREIRO DE 2017

ANDRÉA APARECIDA ROSA

**DEGRADABILIDADE *IN SITU* DA FIBRA DA PALHA DE MILHO TRATADA
COM ÓXIDO DE CÁLCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Zootecnia, da Universidade Federal de São João Del Rei-*Campus* Tancredo de Almeida Neves, como parte das exigências para a obtenção do diploma de Bacharel em Zootecnia.

Comitê de Orientação:

Orientador: PROF.DR. FERNANDO DE PAULA LEONEL (*UFSJ/CTAN*)

Co-orientador: PROF.DR. HENRIQUE V. NUNES MACHADO (*UFSJ/CTAN*)

SÃO JOÃO DEL REI-MG

FEVEREIRO DE 2017

ANDRÉA APARECIDA ROSA

**DEGRADABILIDADE *IN SITU* DA FIBRA DA PALHA DE MILHO TRATADA
COM ÓXIDO DE CÁLCIO**

Defesa Aprovada pela Comissão Examinadora em: ____/____/____

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Fernando de Paula Leonel (Orientador)

Universidade Federal de São João Del Rei

Curso de Bacharelado em Zootecnia/ *Campus* Tancredo de Almeida Neves

Prof. Dr. Henrique Valentim Nunes Machado

Universidade Federal de São João Del Rei

Curso de Bacharelado em Zootecnia/ *Campus* Tancredo de Almeida Neves

Prof. Dr. Leonardo Marmo Moreira

Universidade Federal de São João Del Rei

Curso de Bacharelado em Zootecnia/ *Campus* Tancredo de Almeida Neves

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por conceder-me trilhar esse caminho, guiando meus passos, amparando-me nos momentos difíceis, sem deixar-me desistir.

Aos meus pais Raimundo e Maria da Conceição por me proporcionarem uma educação digna que se iniciou dentro de casa e hoje não possui fronteiras e pelo incondicional apoio ao longo de todo o curso, principalmente me auxiliando na criação da Luíza.

À minha filha Luíza, que por esses longos anos se privou da minha completa atenção, por dividi-la em meio a tantos livros. Obrigada por ser essa dádiva enviada por Deus, a quem amo e me encoraja a buscar sempre mais.

Ao meu amor, Marcus, pela paciência, pelo amor, pela constante troca de ensinamentos e por não desistir de mim e sempre me apoiar a seguir em frente. Obrigada também pelo auxílio no experimento de campo.

À minha irmã Ana Cláudia pelo apoio, amizade e por sempre acreditar em mim e vibrar junto comigo.

Aos meus familiares que se orgulham de mim, pelas inúmeras palavras de incentivo e carinho.

À Universidade Federal de São João Del Rei pela incrível oportunidade de fazer parte dela.

Ao Departamento de Zootecnia da UFSJ, pelo comprometimento e apoio sempre.

Ao professor Fernando de Paula Leonel pela orientação, pela confiança na realização desse trabalho e pela amizade. Agradeço imensamente por compartilhar comigo seus conhecimentos e sua experiência profissional.

Ao professor Henrique Valentim Nunes Machado, pela co-orientação, pela parceria na realização do trabalho, principalmente pelo direcionamento nas análises laboratoriais.

Aos professores Alexandre de Oliveira Teixeira e Leonardo Marmo Moreira pelas importantes contribuições e esclarecimento de dúvidas, que ajudaram a enriquecer este trabalho.

À professora Leila de Gênova Gaya, pelas palavras de encorajamento, pelo apoio incondicional e pela amizade.

Aos demais professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, uma etapa muito importante em minha vida. Agradeço também a amizade de todos.

Aos meus colegas Douglas Kirshe Basaia e Natália Pitta pela incondicional e valiosa ajuda no experimento de campo e nos procedimentos no Laboratório de Nutrição Animal.

Ao técnico agropecuário Caio, pela prestativa ajuda no experimento de campo, sempre de prontidão quando precisei.

À minha amiga Mariana Moura pelas palavras certas, pela confiança recíproca, pelos conselhos sábios e por muitos momentos de cooperação para realização deste trabalho.

À minha amiga Carol Tanure pelas palavras de incentivo e pelo companheirismo.

À minha amiga Kélen Marques por sempre se preocupar comigo e por ter sido tão companheira todos esses anos.

Às minhas amigas Lucélia Santos e Bárbara Rodrigues, que ao longo de todos esses anos de graduação fizeram parte de momentos tão especiais. Agradeço também pelas parcerias em inúmeros trabalhos acadêmicos, onde houve grande troca de experiências. Enfim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

Resumo

O objetivo com esse trabalho foi determinar os parâmetros cinéticos de degradação, *in situ*, da fibra em detergente neutro (FDN) da palha de milho tratada com 5 % de óxido de cálcio (CaO) e da palha de milho sem tratamento, em comparação com a silagem de milho e silagem de sorgo, além de compará-los entre si. Foram utilizados quatro bovinos machos, adultos, mestiços, com peso vivo médio de 450 kg, fistulados no rúmen. Os alimentos foram processados em moinho com peneiras de porosidade 2 mm e incubados nos tempos 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 e 96 horas. Após retirados, os resíduos foram lavados em água corrente, secos em estufa ventilada por 72 horas e pesados para análise da degradabilidade da FDN. O material que não foi incubado foi analisado quanto ao conteúdo de extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), matéria seca (MS) e fibra em detergente neutro (FDN). Foi observada uma redução de 38% nos teores de FDN na palha de milho hidrolisada, quando comparada com a palha de milho sem tratamento. Com relação à cinética de degradação ruminal da fibra, não houve diferença significativa para os parâmetros avaliados, exceto para o período de latência (L). Não houve aumento na degradação da fibra em detergente neutro da palha de milho tratada com óxido de cálcio quando comparada com a palha de milho sem tratamento, silagem de milho e silagem de sorgo. A hidrólise da palha de milho com óxido de cálcio alterou a degradabilidade apenas da matéria seca total, o que indica uma maior disponibilização de todos os constituintes da parede celular e não somente da porção fibrosa.

Palavras-chave: degradação, hidrólise alcalina, resíduos agroindustriais.

Abstract

The objective of this work was to determine the kinetic parameters of in situ degradation of the neutral detergent fiber (NDF) of the corn straw treated with 5% calcium oxide (CaO) and the untreated maize straw compared to Corn silage and sorghum silage, in addition to comparing them to each other. Four adult male mestizos were used, with a mean live weight of 450 kg, rumen fistulated. Foods were processed in mill with 2 mm porosity sieves and incubated at 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 and 96 hours. After removal, the residues were washed in running water, oven dried for 72 hours and weighted for analysis of the degradability of NDF. The material that was not incubated was analyzed for the content of ethereal extract (EE), crude protein (CP), dry matter (DM) and neutral detergent fiber (NDF). A reduction of 38% in NDF content was observed in hydrolyzed maize straw when compared to untreated maize straw. Regarding the kinetics of ruminal degradation of the fiber, there was no significant difference for the evaluated parameters, except for the latency period (L). There was no increase in the neutral detergent fiber degradation of the calcium oxide treated maize straw when compared to the untreated maize straw, corn silage and sorghum silage. The hydrolysis of corn straw, with calcium oxide altered the degradability only of total dry matter, which indicates a greater availability of all constituents of the cell wall and not only the fibrous portion.

Keywords: Degradation, alkaline hydrolysis, agroindustrial residues.

Sumário

1-Introdução	9
2- Revisão de literatura	10
2.1- Produção de bovinos de corte em sistema de confinamento	10
2.2 - Utilização de Resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes	12
2.3 – Palhada residual da indústria do milho	13
2.4 - Cristalinidade da Celulose	14
2.5 – Hidrólise.....	16
2.5 – Métodos físicos para aumentar a digestibilidade de materiais fibrosos	17
2.6 – Tratamentos químicos que aumentam a digestibilidade de materiais fibrosos	18
2.6.1 – Óxido de cálcio	19
2.6.2 – Amonização	21
2.6.3 – Hidróxido de cálcio.....	24
2.7- Degradabilidade <i>in situ</i> da fibra.....	25
3- Material e métodos	27
3.1. Modelo utilizado na predição dos parâmetros relacionados à cinética de degradação da fibra	29
3.2. Variáveis analisadas	29
4- Resultados e discussão.....	31
5- Conclusão	36
6- Referências bibliográfica	37

1- Introdução

A pecuária brasileira é baseada na produção de animais a pasto. Mas além da crescente demanda por alimentos, surge a necessidade da intensificação da produção aliada ao aumento da eficiência produtiva. Uma das tecnologias mais utilizada atualmente para obtenção de um produto de melhor qualidade em menor tempo é o confinamento de bovinos, principalmente em sua fase de terminação, aliada a uma suplementação adequada na recria e muitas vezes até na fase de cria do animal.

No entanto, o confinamento é uma atividade de custo elevado. Em função disso, busca-se, cada vez mais, alternativas de fontes alimentares de menor custo visando racionalizar os recursos alimentares disponíveis.

O Brasil é conhecidamente um país de grande atividade agrícola, gerando ampla variedade de produtos. São aproximadamente 130 milhões de toneladas de subprodutos gerados por ano, dos quais muitos deles podem ser utilizados na alimentação de ruminantes.

Normalmente, a escolha e a forma de utilização de determinado resíduo devem ser regionais, uma vez que o uso estará limitado ao valor nutricional, disponibilidade e custos. Mesmo sendo considerada incipiente diante da grande quantidade gerada, a utilização de subprodutos e resíduos agrícolas é um fato concreto e crescente em nosso país e pode chegar a reduzir de 5 a 10 % o custo nutricional da arroba produzida em alguns sistemas intensivos de terminação.

A grande limitação para a utilização de subprodutos e resíduos agroindustriais, deve-se, principalmente, ao reduzido valor nutritivo, uma vez que, os teores de compostos nitrogenados, carboidratos solúveis e minerais são baixos, além da digestibilidade da fibra que também é baixa, devido, principalmente ao estágio de maturidade fisiológica que se encontra esses produtos.

Para melhor aproveitamento desses ingredientes na alimentação animal, torna-se necessário identificar quais os melhores meios para a utilização dos nutrientes ali presentes. Os mais conhecidos são a suplementação nutricional e os tratamentos químicos. A suplementação nutricional é importante por fornecer ao animal fontes ricas em nutrientes disponíveis, proporcionando interação positiva entre o aumento do consumo com o aumento da população microbiana do rúmen, principalmente microorganismos digestores de celulose.

Os tratamentos químicos de forragens tropicais e de subprodutos e resíduos surgem como uma alternativa, a um custo relativamente baixo, de melhoria na digestibilidade dos ingredientes, além de, em alguns casos, aumentar o valor nutritivo do material com incorporação de compostos nitrogenados.

O tratamento químico mais utilizado é feito com agentes alcalinizantes, que atuam promovendo o rompimento da fração fibrosa, ou até mesmo o afrouxamento das ligações entre as estruturas da parede celular, predispondo-a, assim, à ação dos microorganismos ruminantes, tornando o alimento mais digestível, podendo melhorar o desempenho animal.

Assim, o objetivo com esse trabalho foi avaliar a degradabilidade da palha de milho sem tratamento e da palha de milho tratada com 5% de óxido de cálcio, comparando-as com silagem de milho e silagem de sorgo, por meio da técnica de degradação ruminal *in situ*.

2 - Revisão de literatura

2.1- Produção de bovinos de corte em sistema de confinamento

. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, ficando atrás dos EUA, que não possui o maior rebanho, mas tem um nível de tecnologia aplicada à sua produção maior que nosso país.

Em 2013, de acordo com ABIEC, o rebanho era de 209 milhões de cabeças e com a crescente demanda por carne bovina, tanto no mercado interno quanto no externo, o país apresenta um grande potencial de produção (Casagrande et al., 2013).

O sistema de produção de bovinos de corte no Brasil é pautado na utilização de pastagens e mesmo os animais terminados em confinamento permanecem, pelo menos em uma das fases da criação, no pasto (Casagrande et al., 2013). Isto faz com que a produção de carnes siga a sazonalidade da produção forrageira, com um efeito marcante na curva de crescimento, com períodos com ganho de peso satisfatório na estação chuvosa e dificuldade em ganhos ou para manter o peso corporal no período de estiagem (Moraes et al., 2013).

Sendo o aspecto citado acima um dos principais para que o Brasil tenha índices zootécnicos aquém do potencial, principalmente na pecuária de corte, torna-se necessária a implementação de tecnologias que possam reverter ou melhorar esse quadro (Casagrande et al., 2013).

Ao mesmo tempo que a pecuária de corte brasileira deve ser compreendida como algo complexo, envolvendo fatores como animal, clima, ambiente, suplementos etc., e que a qualidade e quantidade do produto final serão afetadas por essas interações, surge a necessidade de intensificação da produção, tanto pela exigência do mercado por um produto de melhor qualidade, quanto pela eficiência econômica e ambiental (Moretti et al., 2013).

O sistema de confinamento de bovinos de corte é realidade nos dias de hoje no Brasil, saltando de aproximadamente 1,95 milhão de animais confinados em 2000 para 3,87 milhões em 2012 (ANUALPEC, 2012).

A terminação em confinamento é fator de grande importância para abater animais jovens, com até 24 meses, com bom acabamento de carcaça. A alta demanda

energética de animais nessa fase dificulta a obtenção de desempenho satisfatório com a terminação realizada a pasto (Casagrande et al., 2013).

Neste contexto, a pecuária de corte localizada em áreas agroindustriais pode fazer uso dos resíduos dessa agroindústria, sendo, no Brasil, mais expressiva a utilização do bagaço da cana-de-açúcar (Peixoto et al., 2012) e, mais recentemente, outros subprodutos ou resíduos, como por exemplo, a palha de milho, a palha de trigo, a palha de arroz e a casca de café. Tal prática é vista como uma alternativa para redução de custos e destino final para resíduos agroindustriais.

2.2 - Utilização de Resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes

O Brasil se destaca na produção agrícola, sendo este um dos setores econômicos mais estratégicos para consolidação da estabilização da economia, devido à grande participação e forte efeito do complexo agroindustrial no produto interno bruto (PIB), ao alto peso dos produtos de origem agrícola na pauta de exportações e importância para controle da inflação.

Em levantamento feito pela Conab para safra de grãos 2015/16 a estimativa para produção brasileira de grãos é de 210,3 milhões de toneladas e a área plantada prevista de 58,5 milhões de hectares. A região Centro-Oeste é a principal produtora de grãos no país e o estado de Goiás se destaca na produção de milho.

A modernização da agricultura proporcionou a ampliação da produção de alimentos e fez com que os sistemas agrícolas ficassem mais intensivos, inclusive provocando a expansão do setor agroindustrial. Como consequência disso, temos maior contribuição ao desenvolvimento do país, geração de emprego e renda, mais alimentos e riqueza. Entretanto, também são observados maiores impactos ao meio ambiente devido a uma maior geração de resíduos agroindustriais.

Os impactos ambientais gerados por esses resíduos decorrem da alta geração em termos quantitativos e, em alguns casos, da sua lenta decomposição ou até mesmo toxicidade. Entre os métodos de reaproveitamento da biomassa remanescente dos processos empregados na agricultura e agroindústria, um que vem se destacando é a utilização desses resíduos na alimentação de animais ruminantes.

O resíduo agroindustrial mais utilizado no Brasil até hoje é o bagaço de cana-de-açúcar, mas, atualmente, a utilização de outros produtos como a casca de café e as palhas de trigo, arroz e milho se encontra em expansão.

Os resíduos agroindustriais se caracterizam pelo alto grau de maturidade fisiológica, apresentando alto valor de FDN ou sua fibra apresenta baixa digestibilidade devido ao aumento do percentual de constituintes da parede celular. Uma das alternativas para a melhoria da digestibilidade desses produtos são os tratamentos físicos e químicos dos mesmos.

2.3 – Palhada residual da indústria do milho

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em levantamento feito em 2010, o Brasil era o terceiro maior produtor mundial de milho, totalizando 53,2 milhões de toneladas na safra 2009/2010, sendo a maior parte destinada às indústrias de rações para animais. Segundo a Embrapa, além de consumido *in natura*, o milho é transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose, flocos para cereais matinais, entre outros.

Conforme Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa (ABIB, 2011), constituem os resíduos do processamento do milho, a palha e o sabugo, totalizando um fator residual de 58%. Em 2009 foram 14.144.321 ha de área plantada de milho em todo território nacional, 13.659.776 ha de área colhida, 50.745.996 toneladas de produção total colhida e 29.432.678 toneladas de resíduos gerados através do processamento do

milho (IBGE, 2010; Brasil, 2010c; ABIB, 2011). De acordo ainda com a Conab, a safra brasileira de milho em 2014 atingiu a produção de 84.672.400 toneladas.

A intensificação da produção de grãos, tendo como consequência o aumento da produtividade, traz muitos benefícios ao país como geração de renda, empregos e participação importante no PIB nacional, mas, atualmente, torna-se inviável não se atentar para os impactos ambientais que os resíduos que a agricultura e a agroindústria associada geram.

Esses resíduos podem ser utilizados na alimentação de ruminantes como fonte de volumosos ou em substituição parcial de grãos da dieta (Chapple, 2014). No Brasil, a utilização dos resíduos do processamento do milho está em expansão, bem como o tratamento químico da palhada para melhoria de sua digestibilidade.

A palha proveniente do cultivo do milho para semente encontra-se em estágio avançado de maturidade fisiológica e portanto, com nível elevado de FDN, FDA e lignina. Tratamentos físicos (moagem) e químicos com amônia anidra (NH_3), ureia ($(\text{NH}_2)\text{CO}$), óxido de cálcio (CaO), hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e hidróxido de sódio (NaOH) são utilizados visando melhoria da digestibilidade desse resíduo.

2.4 - Cristalinidade da Celulose

A fibra dietética, denominada de parede celular vegetal é constituída de polissacarídeos estruturais fibrosos como a celulose e hemicelulose, associadas a substâncias pécticas e substâncias não glicídicas como ligninas, sílica, ácido fítico, cutinas e taninos, além de já ter sido verificada a presença de substâncias amiláceas e glicoproteínas (Chalfun, 2008).

A celulose caracteriza-se por ser o maior componente da biomassa vegetal e o polímero orgânico mais abundante que existe, podendo ser encontrado na forma pura, como no algodão, ou mais comumente, associada à hemicelulose e à lignina na

parede celular. Possui uma estrutura relativamente simples, formada de monômeros de D-glicose unidos por ligações glicosídicas $\beta - 1,4$ (Atalla et al., 1984; Fengel; Wegner, 1989 apud Legowski et al., 2013). Além disso, possui alta massa molecular, cadeia linear e alto grau de polimerização das unidades de celobiose $\beta - D -$ glicopiranosose (Chalfun, 2008).

D`Almeida (1981) define a celulose como uma estrutura formada através de ligações de hidrogênio entre grupos hidroxila, podendo ocorrer na mesma molécula (ligações intramoleculares), responsáveis pela rigidez das cadeias unitárias ou entre as moléculas adjacentes (intermoleculares), que são responsáveis pela formação da estrutura supramolecular.

Essa estrutura supramolecular confere à celulose regiões cristalinas, altamente ordenadas, intermediadas por regiões menos ordenadas, chamadas de regiões amorfas, sendo estas mais acessíveis ao ataque enzimático ou de reagentes, ou até mesmo absorção de água (Kadla & Gilbert, 2000). Entretanto, a celulose está estruturalmente ligada à hemicelulose e à lignina, não sendo, assim, um substrato acessível (Chalfun, 2008).

As hemiceluloses constituem um grupo misto de polissacarídeos não celulósicos lineares e/ou ramificados que compreende dois grandes grupos: os pentosanos, constituídos de unidades de pentoses (D – xilose e L – arabinose) e os hexosanos, constituídos de unidades de hexoses (D –glucose, D – galactose e D – manose) (Chalfun, 2008).

Os monossacarídeos da hemicelulose se ligam uns aos outros por ligações glicosídicas $\beta - 1,4$, podendo ser encontradas também ligações $\beta - 1,3$; $\beta - 1,6$; $\alpha - 1,2$; $\alpha - 1,3$ e $\alpha - 1,6$. São degradadas mais facilmente que a celulose, devido ao baixo grau de polimerização e à sua natureza amorfa, mas, ainda assim, é necessário um complexo

sistema enzimático para sua degradação em função de sua estrutura variável e ramificada (Jung, 1997). Segundo Chalfun (2008), as hemiceluloses são mais solúveis em meio alcalino e são ligadas às ligninas covalentemente.

Outro componente presente na parede celular das plantas muito importante quanto à digestibilidade de forrageiras é a lignina que se caracteriza por se constituir de polímeros condensados de diferentes álcoois fenilpropanóides p-cumárico, coniferílico e o sinapílico, além do ácido ferúlico, unidos por ligações tipo éster ou ligações covalentes entre os núcleos benzênicos ou aliados aos radicais propano. Considerada um heteropolímero complexo de alta massa molecular, possui estrutura amorfa, aromática, altamente ramificada e insolúvel em água, apresentando-se sob uma rede tridimensional com ligações cruzadas. Não apresenta ligações hidrolisáveis, sendo resistente ao ataque microbiológico (Jung, 1997).

2.5 – Hidrólise

O conceito de hidrólise é aplicado a reações orgânicas e inorgânicas em que a água efetua dupla troca com outro composto. Um hidrogênio da molécula de água é transferido para um dos produtos e o grupamento hidroxila é transferido para o outro produto (Hijazin et al., 2010).

Hidrólise significa decomposição pela água, mas são raros os casos em que a água por si só, pode realizar uma hidrólise completa, sendo que, para que a reação seja rápida e completa é necessário um agente acelerador, qualquer que seja o mecanismo da reação; os mais importantes agentes são álcalis (bases), ácidos e enzimas (Hijazin et al., 2010).

De acordo com Garcia & Pires (1998), a hidrólise caracteriza-se por ser uma reação de ruptura de ligações químicas, promovidas pela água, em meio ácido ou alcalino, ou pelo calor, com despressurização brusca de material úmido hidrolisável.

A hidrólise alcalina ou básica é uma reação hidrolítica em que um álcali é utilizado no lugar da água e, no final, obtém-se um sal alcalino e um ácido. A hidrólise alcalina pode ser distinta em três classes, sendo uma o uso de baixas concentrações de álcali na hidrólise, usado em reações de ésteres ou materiais similares; a outra é o uso de álcali suficiente sob alta pressão e em alta concentração e a terceira é a fusão de materiais orgânicos com hidróxido de sódio ou potássio (Hijazin et al., 2010).

2.5 – Métodos físicos para aumentar a digestibilidade de materiais fibrosos

O valor alimentício de resíduos de culturas pode ser melhorado através de uma maior transformação física e química. O processamento físico reduz o desperdício de alimentos e pode aumentar a ingestão de matéria seca de forragens de baixa qualidade, influenciando fatores que afetam a digestibilidade (Vallone, 2009).

Os tratamentos físicos mais comuns são o mecânico, o térmico ou por ação do vapor, a elevação da pressão e a irradiação.

O mecânico engloba a moagem e a fragmentação e não melhora a digestibilidade, mas tende a aumentar a ingestão diária (Vallone, 2009).

Quanto ao tamanho de partícula, a moagem aumenta a superfície por unidade de peso da amostra acessível aos microorganismos (Nocek, 1988). A ingestão pode ser maior devido ao aumento da densidade do material e menor tempo de mastigação, porém a taxa de passagem aumenta, devido a uma maior velocidade do trânsito gastrointestinal e a digestibilidade pode ser diminuída (Vallone, 2009).

A explosão com vapor é considerada um método de preparação de resíduos para que eles possam se tornar mais acessíveis à hidrólise. O vapor é aplicado de modo a penetrar no interior do material que fica pressurizado, com posterior descompressão para que possa ser fragmentado e convertido em feixes de fibras e

fibrilas com a matriz de sua estrutura mais afrouxada, sendo assim mais acessíveis a processos posteriores (Oliveira, 2010).

Os tratamentos físicos são utilizados geralmente em conjunto com os tratamentos químicos, podendo anteceder-los, ou é realizada uma sucessão de procedimentos físicos para melhoria principalmente da superfície de contato dos materiais (Oliveira, 2010).

2.6 – Tratamentos químicos que aumentam a digestibilidade de materiais fibrosos

Os tratamentos químicos surgem como uma alternativa para hidrolisar carboidratos fibrosos, promovendo melhorias no valor nutritivo dos resíduos (Garcia et al., 2015). Os agentes alcalinizantes são utilizados no intuito de melhorar o coeficiente de digestibilidade por atuar na solubilização parcial da hemicelulose, promovendo o fenômeno de entumescimento alcalino, que consiste na expansão das moléculas de celulose, causando, assim, a ruptura das ligações de hidrogênio, aumentando a digestibilidade tanto da celulose quanto da hemicelulose (Domingues et al., 2012).

Esses agentes atuam sobre as ligações covalentes tipo éster ($R-COO-R'$) entre a lignina e a parede celular de modo a quebrá-las e aumentar a solubilidade da fração fibrosa (Soest, 1994). Além disso, o afrouxamento das miofibrilas dos componentes da parede celular promove sua maior hidratação, favorecendo, assim, o ataque dos microorganismos ruminais na fração fibrosa.

Owen et al., (1984), afirmam que o produto químico ideal para o tratamento do volumoso deve ter eficácia no aumento da digestibilidade, sendo que os benefícios devem ultrapassar os custos associados ao tratamento, não deve ser tóxico ou ter efeito tóxico ao animal e risco de contaminação ambiental, deve fornecer nutrientes para os animais e não oferecer perigo ao ser manuseado.

Os tratamentos químicos mais utilizados são desenvolvidos com óxido de cálcio (CaO), amonização com ureia (CH₄N₂O) e amônia anidra (NH₃), hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e no passado, o hidróxido de sódio (NaOH) e potássio (KOH) (Garcia et al., 2015).

2.6.1 – Óxido de cálcio

Ao passo que estudos vem demonstrando que o tratamento de materiais fibrosos com agentes alcalinizantes melhora a digestibilidade dos mesmos, a cal micropulverizada, encontrada nas formas de óxido de cálcio (CaO) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), com baixos teores de magnésio, dioxinas e furanos, certificada pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para alimentação animal, surge como alternativa segura, de fácil manuseio e baixo custo (Campos et al., 2011).

Após ser extraído, selecionado e moído, o calcário (CaCO₃) é submetido a elevadas temperaturas em fornos industriais, através da calcinação, dando origem ao CaO, conhecido como óxido de cálcio ou cal e gás carbônico. A equação química dessa calcinação é:



A maioria da cal produzida no Brasil resulta de calcários dolomíticos e tem pureza variável, sendo que a qualidade química deste composto depende primeiramente das características e das impurezas contidas na rocha que lhe deu origem (Chalfun, 2008).

O óxido de cálcio quando utilizado para hidrólise de volumosos de baixo valor nutricional promove solubilização dos constituintes fibrosos e consequente aumento na digestibilidade da matéria seca, proporcionando maior utilização desse alimento pelos microorganismos ruminais (Garcia et al., 2015).

Com características viáveis do ponto de vista econômico, manuseio e aplicação e com embasamento nas alterações na estrutura da parede celular, as pesquisas envolvendo tratamentos alcalinos com a utilização de óxido de cálcio vêm aumentando, bem como a utilização deste álcali em sistemas de produção brasileiros (Garcia et al., 2015).

Russel et al., (2011) avaliando a digestibilidade da palhada de milho tratada com 5% (MS) de CaO, constataram que esta pode ser utilizada em até 20% na MS nas dietas de confinamento como substituto do milho grão.

Shreck (2013) submeteu as palhadas de milho e trigo ao tratamento com 5% de CaO e observou aumentos na digestibilidade *in vitro* da matéria seca e matéria orgânica.

Avaliando a degradação ruminal *in situ* da palhada de trigo tratada com CaO, Chaudhry, (2000) concluiu que a utilização desse álcali modifica a composição da parede celular, o que leva ao aumento da degradabilidade do material, podendo assim ser uma alternativa para o aumento de consumo de matéria orgânica por parte de ruminantes.

No Brasil, a maior parte dos trabalhos avaliando degradação *in vitro* e *in situ* de materiais com óxido de cálcio é com cana-de-açúcar. Esta forrageira é muito utilizada em nosso país, principalmente no período de escassez da pastagem, em função de seu alto nível de produtividade e alto teor de sacarose. O óxido de cálcio na cana-de-açúcar é utilizado no intuito de conservação do material, evitando o corte diário; prevenção contra desenvolvimento de leveduras ou outros microorganismos indesejáveis em silagens ou até mesmo em materiais picados; e para aumento da digestibilidade do material por transformações na parede celular da planta (Casali et al., 2011).

O tratamento de palhadas com óxido de cálcio é recente no Brasil e tem como principal objetivo a redução dos custos com alimentação nos sistemas de produção, principalmente em confinamentos, em épocas em que há alta no preço dos grãos, uma vez que, esses produtos hidrolisados podem ser utilizados como substituto parcial do milho grão (em média 12%) e também oferecido aos animais como volumoso para favorecer o processo de ruminação, visto que, 80 % da dieta nesse sistema de produção é composta de alimento concentrado (Garcia et al., 2105).

O uso do óxido de cálcio (CaO) para tratamento hidrolítico de forragens ou resíduos, tem por base a formação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), que é um agente alcalino com moderado poder de hidrólise da fibra (Berger et al., 1994).

2.6.2 – Amonização

A amonização caracteriza-se como o tratamento de volumosos cujo processo de reação ocorre por meio de uma fonte de amônia, geralmente a uréia e a amônia anidra (Garcia et al., 2015).

Segundo Garcia et al., (2015), duas teorias procuram explicar o efeito da amônia na parede celular dos vegetais. A primeira é proposta por Tarkow e Feist (1969), chamada de amoniólise e é baseada na reação entre a amônia (NH₃) e um éster (R-COO-R'), produzindo uma amida (NC=O). Há o rompimento das ligações éster entre a hemicelulose e lignina com grupos de carboidratos e a conseqüente formação da amida.

Ainda de acordo com Garcia et al., (2015), a segunda teoria é proposta por Buettner et al.(1982) e é baseada na característica da amônia em apresentar alta afinidade com a água, resultando na formação de uma base fraca, o hidróxido de amônio (NH₄OH), durante o tratamento dos materiais com esse composto, com

presença de umidade. Ocorre conseqüente hidrólise alcalina, que resulta da reação do hidróxido de amônio com as ligações ésteres entre os carboidratos estruturais.

A utilização desse tipo de álcali resulta em aumento da digestibilidade, em função da redução dos constituintes da parede celular, aumento no teor do nitrogênio total e preservação de volumosos pelo controle do crescimento microbiano (Garcia et al., 2015).

2.6.2.1 - Ureia

Componente químico que possui em média 44% de nitrogênio, a ureia é encontrada na forma sólida. Responsável por uma reação denominada ureólise, que através da presença de umidade e da enzima urease, produz duas moléculas de amônia e uma molécula de gás carbônico para cada molécula de uréia. A amônia produzida gera os efeitos na parede celular (Garcia & Pires, 1998).

A urease é praticamente ausente em palhas ou em material morto, mas, de acordo com Willians et al. (1984), citado por Garcia et al., (2015), esta enzima produzida pelas bactérias ureolíticas, durante o tratamento de resíduos, é suficiente, quando a umidade não é fator limitante. Sendo assim, a condição de umidade favorável à atividade da urease é em torno de 25 a 30 % (Sundstol, 1984).

A amonização de resíduos utilizando uréia proporciona melhoria no valor nutritivo, comprovada pela elevação da proteína bruta, redução do conteúdo de FDN e aumento na digestibilidade *in vitro* da MS, provavelmente devido a alterações observadas nos constituintes da parede celular (Carvalho et al., 2006).

Pádua et al., (2011) trabalharam com feno de *Paspalum notatum* com aplicação de uréia e concluíram que houve alterações significativas nos constituintes da parede celular com redução nos teores de FDN e FDA, havendo também aumento no teor de proteína bruta.

A alcalinização do meio, através da uréia também se mostra efetiva no controle de fungos e leveduras. Roseira, (2015) avaliou a estabilidade aeróbia do bagaço de cana-de-açúcar tratado com uréia e enzimas fibrolíticas, concluindo que a aplicação de 7% de uréia impediu o aumento de unidades formadoras de colônias em um período de armazenamento de quatro semanas.

2.6.2.2 – Amônia anidra

A amônia anidra é um composto que apresenta um átomo de nitrogênio e três de hidrogênio (NH_3), possui elevado teor de nitrogênio (82%), normalmente é obtida no estado líquido sob baixas temperaturas ou pressões relativamente altas e é considerada um dos álcalis mais eficientes em promover alterações nos constituintes fibrosos (Pires et al., 2004).

Goto & Yokoe (1996) citados por Pires et al., (2004) estudaram o efeito da celulose cristalina e a retenção de água em palha de cevada tratada com 3% (MS) de amônia anidra e relataram que a amonização contribui com dois efeitos para o aumento da degradabilidade do material. Primeiramente, por ser um álcali, a amônia limita-se a quebra das ligações éster interpolímeros, resultando em afrouxamento na estrutura da parede celular, observado pelo maior grau de hidratação da parede. O outro ponto, é o fato da amônia ter afinidade com a celulose, provocando assim redução da sua cristalinidade, sendo observado influência na taxa de digestão enzimática.

A amônia anidra é um composto químico com características de solvente (Reis, 1993). Segundo Gonçalves et al., (1997), a ação da amônia anidra sobre a fração fibrosa dos vegetais ocorre de acordo com a descrição a seguir:

1ª reação: amoniólise

Reação entre a fração fibrosa e a amônia (NH₃). Rompimento das ligações tipo éster existentes entre a hemicelulose e os grupos de carboidratos estruturais e a lignina, com formação de amidas.



2ª reação: formação do hidróxido de amônio (NH₄OH)

A alta afinidade entre a amônia e a água existente nos volumosos resulta na produção de hidróxido de amônio, que é uma base fraca.



3ª reação: hidrólise alcalina

A partir do hidróxido de amônio pode ocorrer a hidrólise alcalina das ligações tipo éster existente na fração fibrosa dos volumosos.



2.6.3 – Hidróxido de cálcio

Obtém-se o hidróxido de cálcio após reação de fases sólida – líquida, considerada fortemente exotérmica, sendo necessário para a formação do Ca(OH)₂, 1 mol de H₂O para cada mol de CaO, logo, para cada 56,0 g de cal são necessários 18,0 g de água (Moraes et al., 2008).

O hidróxido de cálcio, bem como o óxido de cálcio estão sendo bastante utilizados no tratamento de volumosos em substituto ao hidróxido de sódio, que foi vastamente utilizado há alguns anos. Os dois primeiros apresentam custo mais baixo, na forma de óxido de cálcio podem ser armazenados por mais tempo, oferecem menos risco de manuseio ao manipulador e são menos prejudiciais aos animais e ao meio ambiente (Garcia et al., 2015).

2.7- Degradabilidade *in situ* da fibra

A digestibilidade constitui um dos principais parâmetros para avaliação do valor nutritivo de alimentos consumidos por bovinos (Casali et al., 2008), tornando-se extremamente importante determiná-la ou estimá-la, bem como conhecer a composição química dos alimentos para formulação adequada de dietas balanceadas que possibilitem aos animais expressarem ao máximo seu potencial produtivo (Oliveira, 2011).

Entender como ocorre a degradação dos alimentos no ambiente ruminal é de extrema importância em estudos de avaliação de alimentos para ruminantes, porque além de proporcionar adequação da dieta, otimizam desempenho produtivo e até podem reduzir custos de produção (Cabral, 2005).

A cinética de degradação ruminal é retratada pelas curvas de desaparecimento de cada fração dos alimentos e a descrição da taxa e extensão da digestão é importante para explicar as relações existentes entre ingestão, digestão e desempenho de ruminantes (Mertens, 1997).

Segundo Santos, (2006), a aplicação da técnica *in situ* para a estimativa da degradabilidade ruminal não é recente, sendo descrita pela primeira vez em 1938 por Quin et al. utilizando sacos de seda e por McAnally em 1942 citado por Ørskov (2000).

A partir da década de 70, com base nos estudos realizados por Mehrez, Ørskov; McDonald (1977) foi que a técnica *in situ* com sacos de tecido de náilon vem sendo utilizada para avaliação de degradabilidade ruminal dos alimentos (Santos, 2006). Esta técnica se caracteriza por ser rápida e de fácil execução (Ørskov, 2000 apud Santos, 2006), além de requerer uma pequena quantidade de amostra do alimento, proporcionando o contato deste com o ambiente ruminal em condições reais de pH, tamponamento, oferta de substrato e população microbiana, apesar dos alimentos não serem submetidos aos eventos de mastigação, ruminação e passagem, não comprometendo a análise comparativa (Ørskov; McDonald, 1979; Ørskov; Hovell 1980 apud Santos, 2006).

A determinação de degradabilidade *in situ* tem o objetivo de determinar a taxa de degradação ou o desaparecimento das frações dos alimentos (Santos, 2006). Utiliza-se sacos de náilon para colocação da amostra moída em moinho com peneira que varia de 2 a 5 mm, incubados, por diferentes períodos de tempo, em animais que contém cânula ruminal.

O tempo de incubação ruminal é uma das variáveis de maior influência sobre a representatividade dos resíduos indigestíveis em procedimentos de incubação *in situ*, não existindo na literatura consenso sobre o tempo de incubação ruminal que permita representar melhor esta fração das amostras (Casali et al., 2008). Casali et al., 2008 cita ainda que Ruiz et al., 2001 realizou trabalho utilizando o tempo de incubação de 96 horas; Freitas et al., 2002, 144 horas; Zeoula et al., 2002, 192 horas; Clipes et al., 240 horas e Huhtanen et al., 1994, 288 horas.

O processo digestivo dos ruminantes é um sistema dinâmico onde a taxa de passagem da porção potencialmente digestível e do resíduo indigestível e a taxa de

degradação da fração potencialmente digestível são fatores envolvidos no consumo voluntário das forragens (Smith et al., 1971).

3 - Material e métodos

O experimento foi realizado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de São João Del Rei–UFSJ, *Campus* Presidente Tancredo de Almeida Neves (CTAN), latitude 21° 08' 08" S, longitude 44° 15' 42" W, altitude 910 m, área total do município 1.467,5 km², clima Cwa de acordo com a classificação de Köppen, cuja temperatura anual média é de 20,1°C.

O período de incubação dos materiais foi realizado entre os dias 9 e 13 de fevereiro de 2015. Foram utilizados 4 bovinos machos, mestiços, castrados e fistulados no rúmen, com peso médio de 450 kg. Durante o período de incubação, os animais tiveram livre acesso ao pasto e foi fornecido a eles, diariamente um quilograma (1 kg) de ração comercial de bovinos para fase de crescimento, cuja especificação está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da ração comercial fornecida aos animais

<i>Nutriente</i>	<i>Níveis de Garantia</i>
PB (g/kg)	170,00
EE (g/kg)	30,00
FB (g/kg)	100,00
FDA (g/kg)	85,00
MM (g/kg)	130,00

Minerais e vitaminas: Ca: 20,00 g/kg; P: 5,00 g/kg; Na: 2,00 g/kg; Fe: 20,00 mg/kg; Cu: 30,00 mg/kg; Mn: 90,00 mg/kg; Zn: 150,00 mg/kg; I: 1,00 mg/kg; Co: 1,00 mg/kg; Se: 1,20 mg/kg; Vit. A: 12.500,00 UI/kg; Vit. D3: 2.000,00 UI/kg; Vit. E: 17,50 UI/kg; Monensina: 60,00 mg/kg.

Os períodos de incubação corresponderam aos tempos de 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48, 72 e 96 horas de acordo com Sampaio (1994). A incubação ocorreu em ordem reversa, ou seja, os sacos com as amostras colocados nos diferentes tempos, acima citados, de forma a serem retirados todos ao mesmo tempo. Dessa forma, obteve-se uma lavagem uniforme do material por ocasião da retirada do rúmen. Os sacos correspondentes ao tempo zero não foram incubados no rúmen, porém foram lavados simultaneamente aos demais.

As palhas de milho sem tratamento e tratadas com 5% de óxido de cálcio foram obtidas numa empresa que beneficia milho para semente. O processamento descrito a seguir, não fez parte da metodologia experimental. Porém, faz-se necessário sua descrição nessa seção para uma melhor compreensão da natureza do material em estudo.

A palha retirada da espiga é debulhada para obtenção dos grãos de milho que serão comercializados como semente. O sabugo também é separado ao final do processo. A palha é enviada aos confinamentos, onde é moída para redução do tamanho de partículas para posterior adição de óxido de cálcio, na proporção de 5% da MS. Adicionando-se água até atingir 50% de umidade, o material é misturado para homogeneização e ensilado por um período de no mínimo sete dias.

Os tratamentos experimentais foram: palha de milho tratada com 5% de óxido de cálcio, palha de milho sem tratamento, silagem de milho e silagem de sorgo. As silagens de milho e de sorgo foram provenientes de propriedades da microrregião de São João del-Rei – MG.

Foram incubados por cada tempo, uma amostra de três gramas de cada material em estudo. Antes da incubação, essas amostras foram processadas em moinho de facas equipado com peneira de 2 mm.

Após serem retirados, os sacos de náilon foram lavados, em água corrente, até o clareamento da mesma e, em seguida foram secos a $55\pm 5^\circ\text{C}$ em estufa com ventilação forçada, por 72 horas e levados para o dessecador, para que posteriormente fossem determinados os respectivos pesos.

As amostras foram utilizadas para determinação de fibra em detergente neutro (FDN), segundo metodologia descrita por Silva & Queiroz (1990). O material original, que não foi incubado, foi processado em moinho de facas, em peneira de 1 mm, para determinação de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE), segundo as metodologias descritas por Silva & Queiroz (1990) (Tabela 2).

3.1. Modelo utilizado na predição dos parâmetros relacionados à cinética de degradação da fibra

O modelo utilizado para estimar os parâmetros de cinética de digestão da fibra consiste de uma equação simples de primeira ordem (Smith et al., 1971), com a adição do tempo de latência discreta como descrito por Mertens & Loften (1980):

$$R_t = B_0 + U_0, 0 \leq t \leq L;$$

$$R_t = B_0 e^{-c(t-L)} + U_0, \text{ para } t > L.$$

Em que: R_t = resíduo de FDN no tempo; B = fração potencialmente digestível da fibra; U = fração indigestível da fibra; L = latência discreta; c = taxa de digestão; t = tempo.

3.2. Variáveis analisadas

As variáveis testadas no presente estudo foram: fração potencialmente digestível da fibra padronizada (A_n), fração indigestível da fibra padronizada (U_n), latência discreta (L), taxa de digestão (K_d). As frações B e U foram normalizadas para que

pu dessem demonstrar uma adequada proporção entre si, como demonstrado abaixo (Waldo et al., 1972):

$$B_n = B / (B + U);$$

$$U_n = U / (B + U).$$

A variável L explica o tempo de preparo e colonização do substrato do rúmen até começar efetivamente a digestão. A variável k_d representa a taxa fracionária de digestão da fibra por unidade de tempo.

Os parâmetros do modelo ajustado para a cinética de passagem e perfis de degradabilidade foram estimados com o procedimento NLIN do SAS (SAS System Inc., Cary, NC, USA). Ambos os algoritmos de Newton e Marquardt foram usados. Inicialmente, a forma ou algoritmo preferido foi o de Newton, devido a sua boa performance em termos de convergência, porém, sempre que as correlações entre as estimativas dos parâmetros foram altas, optamos pelos algoritmos de Marquardt.

Foram realizadas análises estatísticas das estimativas dos parâmetros da cinética de digestão e o modelo estatístico adotado foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + a_j + e_{ij}$$

Os efeitos fixos são a média (μ) e os tratamentos (α), já os efeitos aleatórios são atribuídos ao animal (a) e ao erro (e). O modelo estatístico foi ajustado utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS System Inc., Cary, NC, USA).

Foram testados diferentes modelos para a estrutura da matriz de variâncias e co-variâncias. A verossimilhança desses modelos foi verificada a partir do critério de Akaike e dos critérios de verossimilhança dele derivados, ou seja, Δh , W_h e ER_h . As seguintes estruturas foram testadas: simetria composta com correlação constante e variância homogênea, simetria composta com correlação constante e variância

heterogênea, estrutura diagonal principal combinada com variância heterogênea e não covariância e estrutura de variância-covariância irrestrita (Vieira et al., 2011).

Para análise da degradabilidade da matéria seca (DMS), utilizou-se todos os resultados de DMS (incubação de todas amostras em todos animais e em todos os tempos de incubação). Esses dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e as médias foram comparadas com o Teste SNK (Student-Newman-Keuls), também com nível de 5% de probabilidade.

4- Resultados e discussão

Foi observada nesse estudo uma redução de 38 % nos teores de FDN e um aumento nos teores de PB da palha de milho hidrolisada em comparação com a palha de milho sem tratamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição bromatológica dos alimentos utilizados na técnica *in situ*

Alimento	MS (%) ¹	PB (%) ²	EE (%) ²	FDN(%MS) ²
Palha de milho	91,22	1,81	0,66	77,04
Palha de milho + CaO	33,62	7,72	1,03	47,7
Silagem de milho	25,14	6,53	2,25	59,24
Silagem de sorgo	28,36	4,43	1,65	54,02

¹ % MN; ² % MS

A redução nos teores dos constituintes da porção fibrosa se explica pela solubilização da hemicelulose e expansão das moléculas de celulose, causando uma maior hidratação da fibra, favorecendo a ação dos microorganismos ruminais, conseqüentemente aumentando a digestibilidade da fibra. A possível ruptura de ligações da hemicelulose e da celulose com a lignina também favorece os fenômenos que levam a um aumento na solubilização da FDN.

O aumento nos teores de PB encontrados em análises feitas nesse estudo, provavelmente, se explicam, pela diminuição da MS total, de 91,22% para 33,62%.

Mota et. al., (2010) trabalhando com cana-de-açúcar hidrolisada com óxido de cálcio, também verificaram redução nos teores de FDN e hemicelulose em comparação à cana *in natura*. Esses autores explicaram que a redução nessas frações resultou da solubilização parcial dos constituintes da parede celular, normalmente pela solubilização da hemicelulose e expansão da celulose.

Com relação à cinética de degradação ruminal da fibra, os dados foram avaliados de acordo com Vieira et al., (2011) e não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os parâmetros, exceto para o L (período de latência, em horas), que explica o tempo de preparo e colonização do substrato no rúmen até o início efetivo da digestão. Esse parâmetro é incluído em vários modelos na estimativa de degradabilidade e seu uso é justificado por causa da fração fibrosa, rica em celulose, hemicelulose e lignina, que degrada-se mais lentamente, sendo, assim, necessário que se hidrate, sofrendo alterações químicas e físicas, ocorrendo aderência dos microorganismos do rúmen às fibras (Mertens & Ely, 1979).

O parâmetro A_n , representa a fração potencialmente digestível da fibra padronizada, U_n , a fração indigestível da fibra padronizada e K_d a taxa de digestão.

A palha de milho sem tratamento e a palha de milho tratada com 5 % de óxido de cálcio diferiram estatisticamente da silagem de milho e da silagem de sorgo ($p < 0,05$), em relação ao parâmetro L (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros de degradação da FDN, considerando todos os tempos de incubação

Alimento	Estimativa	IC 95%		Estimativa	IC 95%		Estimativa	IC 95%		Estimativa	IC 95%	
	Na	LI	LS	Un	LI	LS	kd	LI	LS	L	LI	LS
PM+CaO	0.7007	0.5929	0.8086	0.2993	0.1914	0.4071	0.0423	0.0149	0.0698	8.285	4.8637	11.7063
PM	0.7105	0.6026	0.8183	0.2895	0.1817	0.3974	0.0312	0.0037	0.0587	8.79	5.3688	12.2113
SM	0.7205	0.6127	0.8284	0.2795	0.1716	0.3873	0.0418	0.0143	0.0693	11.2638	7.8425	14.6851
SS	0.6142	0.5063	0.722	0.3858	0.278	0.4937	0.0344	0.0069	0.0619	14.8672	11.4459	18.2885

Fração digestível normalizada (An), fração indigestível normalizada (Un), taxa de degradação (kd), latência discreta (L); LI: limite inferior; LS: limite superior; PM+CaO: palha de milho tratada com 5% de óxido de cálcio; PM: palha de milho sem tratamento; SM: silagem de milho; SS: silagem de sorgo

De acordo com Macedo et al., (2011), qualquer consideração sobre a utilização de forragens pelos ruminantes deve se basear no contexto das complexas interações que ocorrem entre os diversos componentes da planta e os microorganismos ruminais. Esse autor também cita que de acordo com Ørskov (1986), a qualidade da forragem pode, essencialmente ser expressa em termos de três características próprias: a extensão da digestão potencial, que determina a quantidade de material indigestível, o qual ocupa espaço no rúmen; a taxa de fermentação, que influencia o tempo em que a fração potencialmente digestível ocupa espaço no rúmen; a taxa de redução do tamanho de partícula que influencia a taxa de passagem da fração indigestível e a taxa de fermentação da fração digestível, mas seu nível de influência é pouco conhecido, pois é um parâmetro com maior grau de dificuldade de mensuração.

Campos et al., (2011), trabalhando com degradabilidade *in situ* da cana-de-açúcar tratada com doses crescentes de óxido de cálcio constataram que os valores de degradabilidades potencial e efetiva e as taxas de degradação da matéria seca e matéria orgânica aumentaram linearmente com o aumento da inclusão de CaO. Todavia, os valores de degradabilidade potencial, efetiva e as taxas de degradação da FDN e da FDA foram semelhantes entre os tratamentos, não diferindo da cana *in natura*, o que

evidencia que o óxido de cálcio (CaO) não interferiu nas ligações de hemicelulose e celulose a ponto de alterar os parâmetros avaliados.

Os resultados sobre o tempo de colonização são variáveis, sendo dependentes da metodologia utilizada e das características inerentes a cada volumoso (Soest, 1994). Deste modo, o tempo de colonização de volumosos sofre interferência também da relação volumoso: concentrado (Queiroz et al., 1998). Esses autores relataram tempo médio de colonização da FDN da palha de milho de 7,83 e constataram que ao suplementarem os animais com 5% de farelo de algodão, o tempo de colonização diminuiu.

O tempo de colonização encontrado no presente estudo foi de 8,28 para palha de milho hidrolisada e 8,79 para palha de milho não tratada, valores um pouco maiores que aqueles encontrados por Queiroz et al., (1998), mas semelhante ao encontrado por Miller & Muntifering (1985) citados por Queiroz et al., (1998), que relataram o valor de 8,7 para esse parâmetro.

Casali et. al, (2008) avaliando a influência do tempo de incubação *in situ* e do tamanho de partículas sobre as estimativas das frações indigestíveis da MS, FDN E FDA em alimentos e fezes bovinas, realizaram as análises para obtenção da PB da palha de milho e obtiveram o valor de 2,27 (% MS), 89,06 (% MN) para MS e 89,84 (% MS) para FDN. Queiroz et al., (1998) avaliando o efeito da suplementação da palhada de milho com ureia também realizaram análise bromatológica da palha de milho sem o tratamento e obtiveram os valores de 3,02 (% MS) de PB, 90,05 % de MS e 80,16 (% MS) de FDN.

Na literatura não é comum encontrar a composição bromatológica da palha de milho hidrolisada ou não, sendo assim, torna-se pertinente a comparação dos trabalhos citados com o presente estudo.

No presente estudo, também foi analisada a degradabilidade da matéria seca (DMS), onde foram avaliados todos os tempos de incubação e foi constatado que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os alimentos (Figura 1).

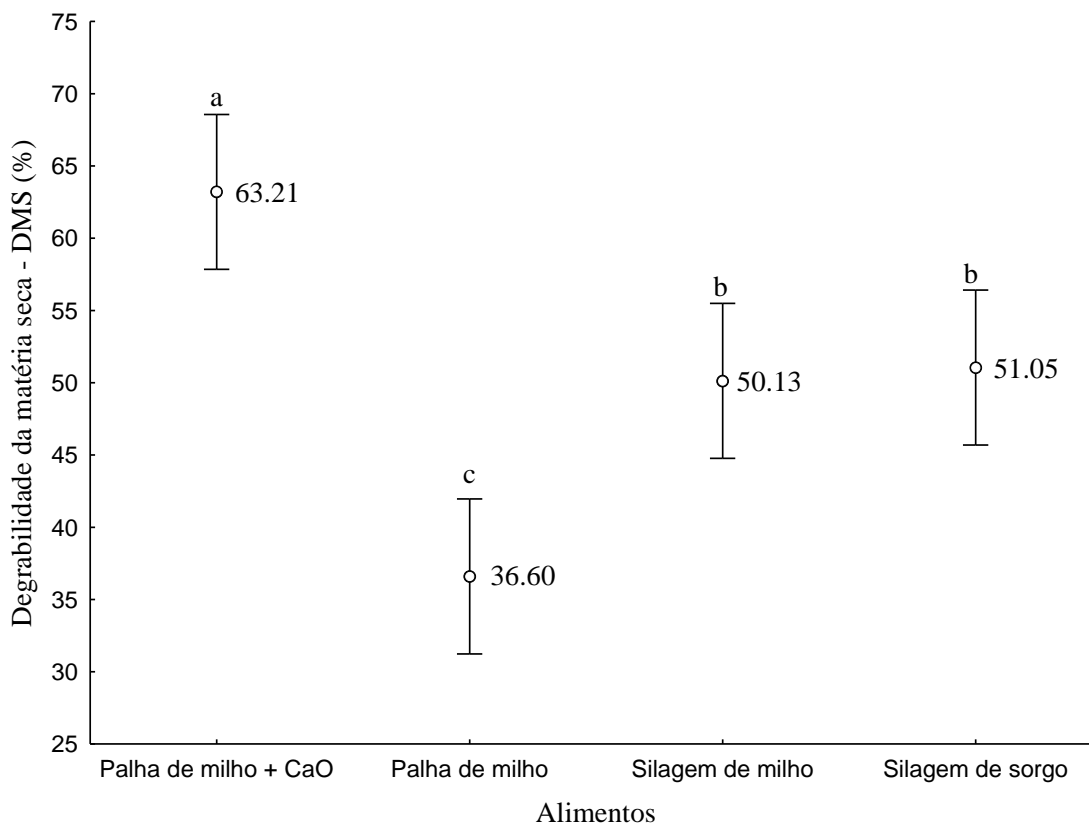


Figura 1 – Degradação média da MS, considerando todos os tempos de incubação.

Nessa análise, a palha de milho tratada com óxido de cálcio teve a maior taxa de degradação da MS, seguida pelas silagens de milho e sorgo, que tiveram valores semelhantes e por último a palha de milho comum. A degradação da MS total da palha de milho hidrolisada (63,21) foi 42,09 pontos percentuais maiores que a palha de milho não hidrolisada (36,60) e em média 20 % maior que as silagens de milho e sorgo.

Essa diferença pode ser explicada, em parte, pela possível ocorrência do escape do CaO dos sacos de náilon, em função de sua alta solubilidade. Outro aspecto importante a ser discutido, é o fato de o CaO alterar a integridade estrutural da célula, afetando sua pressão osmótica e a capacidade de reter água, o que pode causar ruptura

da membrana e vazamento do conteúdo celular. Na MS total estão presentes outros constituintes da estrutura vegetal além da fibra, como proteínas, lipídeos e carboidratos solúveis, sendo estes compostos muito mais solúveis.

Como o tratamento alcalino com CaO age na estrutura vegetal solubilizando componentes e afrouxando estruturas, o ataque microbiológico aos constituintes solúveis da parede celular pode ter sido potencializado, o que não ocorreu na porção fibrosa dos alimentos avaliados.

Além disso, o método utilizado para avaliar os parâmetros cinéticos de degradação (Sampaio, 1994), trabalha com a mensuração de degradabilidade da porção fibrosa somente, não incluindo as estruturas solúveis presentes na parede celular. Provavelmente com a maior solubilização da hemicelulose, a expansão da estrutura da celulose e o rompimento das ligações desses carboidratos com a lignina, esses componentes se tornaram mais expostos à ação microbiológica do rúmen.

5- Conclusão

Não houve aumento na degradação da fibra em detergente neutro da palha de milho tratada com óxido de cálcio quando comparada com a palha de milho sem tratamento, silagem de milho e silagem de sorgo.

A hidrólise da palha de milho com óxido de cálcio alterou a degradabilidade apenas da matéria seca (DMS), o que indica uma maior disponibilização de todos os constituintes da parede celular e não somente da porção fibrosa.

Apesar da degradação da porção fibrosa não apresentar aumento significativo entre as palhas hidrolisadas ou não, neste estudo, o tratamento com agentes alcalinos em resíduos agroindustriais é uma alternativa viável, pois os parâmetros avaliados mostraram que a DMS foi maior na palha que recebeu tratamento, indicando que a

parede celular é composta de outros componentes, mais solúveis que a fibra, que provavelmente se tornam mais disponíveis à ação microbiológica ruminal.

6- Referências bibliográficas

ANUALPEC. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: FNP, 2012.

ATALLA, R.V.; ELLIS, J.D.; SCHROEDER, L.R. Some effects of elevated temperatures on the structure of cellulose and its transformation. **Journal Wood Chemical Technology**, Philadelphia, v.4, n.4, p.465-482, 1984.

BERGER, L.L.; FAHEY Jr., G.C.; BOURQUIM, L.O. **Modification of forage quality after harvest**. In: FAHEY Jr., G.C. et al. (Ed.). Forage quality , evaluation and utilization. American Society of Agronomy, p.922-966, 1994.

CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; ZERVOUDAKIS, J.T.; SOUZA, A.L.; DETMANN, E. Degradabilidade in situ da matéria seca, da proteína bruta e da fibra de alguns alimentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.8, p.777-781, 2005.

CAMPOS, M.M., BORGES, A.L.C.C., LOPES, F.C.F., PANCOTI, C.G., REIS E SILVA, R. Degradabilidade in situ da cana-de-açúcar tratada ou não com óxido de cálcio, em novilhas leiteiras Holandês x Gir. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.6, p.1487-1492, 2011.

CARMO, C.A.; BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; ZEOLA, N.M.B.L. Degradabilidade da matéria seca e fibra em detergente neutro da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) com diferentes fontes de proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 30 (6S):2126-2133, 2001.

CARVALHO, G.G.P.; PIRES, A.J.V.; VELOSO, C.M. Valor nutritivo do bagaço da cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de uréia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.1, p.125-132, 2006.

CASAGRANDE, D.R.; MORETTI, M.H.; REIS, R.A. Estratégias de suplementação de bovinos de corte e seus efeitos sobre a eficiência da terminação. **Anais do 8º Simpósio de Pecuária de Corte (SIMPEC) e 3º Simpósio Internacional de Pecuária de Corte da Universidade Federal de Lavras**. Lavras – MG, p. 59-82, 2013.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PEREIRA, J.C.; HENRIQUES, L.T.; FREITAS, S.G.; PAULINO, M.F. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.335-342, 2008.

CHALFUN, L.H.L. **Adição de cal sobre a cana-de-açúcar: perda de nutrientes e digestibilidade**. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras, 2008.

CHAPPLE, W.P. **Effects of Replacing Corn in Beef Feedlot Diets With Chemically or Thermochemically Treated Corn Stover and Distillers Grains on Growth Performance, Carcass Characteristics, and Ruminal Metabolism**. Theses and Dissertations in Animal Science. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 95 p., 2014.

CHAUDHRY, A.S. Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. **Animal Feed Science and Technology**, 83, 313-323, 2000.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Quinto levantamento**, v.3, safra 2015/2016, n.5, fev. 2016.

D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel**: tecnologia de fabricação de pasta celulósica. 2. ed., v.1. São Paulo: IPT-SENAI, 1981.

DOMINGUES, F.N.; OLIVEIRA, M.D.S.; MOTA, D.A.; FERREIRA, D.S.; SANTOS, J. Desempenho de novilhas de corte alimentadas com cana hidrolisada. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.13, n.1, p.8-14, 2012.

FENGEL, D.; WEGNER, G. **Wood chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 356 p.

GARCIA, R.; PIRES, A.J.V. Tratamento de volumosos de baixa qualidade para utilização na alimentação de ruminantes. In: Congresso Nacional dos Estudantes de Zootecnia, Viçosa, 1998. **Anais...Viçosa**: AMEZ, 1998. p.33-60.

GARCIA, R.; ROSEIRA, J.P.S.; OLIVEIRA, H.C.; RIBEIRO, E.T. Resíduos agroindustriais: Como tratá-los para utilização em dietas de ruminantes. **Anais do 2º Simpósio de Pastagem e Forragicultura do Campo das Vertentes (SIMPASTO) da Universidade Federal de São João Del Rei**. São João Del Rei – MG, p.131-161, 2015.

GONÇALVES, L.C. **Utilização de ureia e amônia em resíduos agroindustriais**: alimentos e alimentação de gado de leite. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 92 p.

HIJAZIN, C.A.H.; SIMÕES, A.T.; SILVEIRA, D.R. Hidrólise ácida, alcalina e enzimática. **Revista Atitude** – Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre, ano IV, n.7, p.89-93, 2010.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília, 2012.

JUNG, H.J.G. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. **The Journal of Nutrition**, v.127, p.810-813, 1997.

JUNG, H.J.G. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. **The Journal of Nutrition**, v.127, p.810-813, 1997.

KADLA, J.F.; GILBERT, R.D. Cellulose structure: a review. **Cellulose Chemical Technology**, Roma, v.34, p.197, 2000.

LENGOWSKI, E.C.; DE MUNIZ, G.I.B.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W.L.E. Avaliação de métodos de obtenção de celulose com diferentes graus de cristalinidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n.98, p.185-194, 2013.

MACEDO, T.M.; PIRES, A.J.V., CARVALHO, G.G.P., LOPES, W.B., SOARES, C.O., CHAGAS, D.M.T. Degradabilidade da matéria seca e da fração fibrosa da cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.429-440, 2011.

MERTENS, D.R. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, vol. 80, Issue 7, p. 1463-1481, 1997.

MERTENS, D.R.; ELY, L.D. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluation forage quality. **Journal Animal Science**, v.4, n.49, p.1437-1446, 1979.

MILLER, B.G.; MUNTIFERING, R.P. Effect of forage: concentrate on kinetics in vitro. **Journal Dairy Science**, v.1, n.68, p.40-44, 1985.

MORAES, K.A.K.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, E. H.B.K.; LEÃO, M.I.; VALADARES, R.F.D.; DETMANN, E.; NALON, P.M. Parâmetros nutricionais de novilhas de corte alimentadas com cana-de-açúcar tratada com óxido de cálcio e diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.7, p.1301-1310, 2008.

MORAES, E.H.B.K.; MORAES, K.A.K.; OLIVEIRA, A.S.; HOFFMANN, A.; SIMIONI, T.A.; DE PAULA, D.C.; BOTINI, L.A.; MOUSQUER, C.J.; SOCREPPA,

L.M.; ALONSO, M.P. Sistemas intensivos de produção de carne bovina com uso de suplementos múltiplos. **Anais do 2º Simpósio Matogrossense de Bovinocultura de Corte da Universidade Federal do Mato Grosso**. Cuiabá – MT, p. 107-150, 2013.

MORETTI, M.H.; RESENDE, F.D.; SIQUEIRA, G.R. Performance of nellore young bulls on marandu grass pasture with protein supplementation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.42, n.6, p.438-446, 2013.

MOTA, D.A.; OLIVEIRA, M.D.S.; DOMINGUES, F.N.; MANZI, G.M.; FERREIRA, D.S.; SANTOS, J. Hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem ou cal hidrolisada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.6, p.1186-1190, 2010.

MURTA, R.M.; CHAVES, M.A.; PIRES, A.J.V.; VELOSO, C.M.; SILVA, F.F.; ROCHA NETO, A.L.; EUSTÁQUIO FILHO, A.; SANTOS, P.E.F. Desempenho e digestibilidade aparente dos nutrientes em ovinos alimentados com dietas contendo bagaço de cana-de-açúcar tratado com óxido de cálcio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.6, p.1325-1332, 2011.

NOCEK, J.E. *In situ* and others methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.71, n.8, p.2051-2059, 1988.

OLIVEIRA, G.A. **Cinética de trânsito e degradação ruminal da fibra de silagens do resíduo de abacaxi em bovinos**. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Minas Gerais: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2011.

OLIVEIRA, M.D.S.; BARBOSA, J.C.; MOTA, D.A.; ANDRADE, A.T. Efeito da hidrólise com cal virgem sobre a composição bromatológica da cana-de-açúcar. **Veterinária Notícias**, Uberlândia, v.14, n.1, p.19-27, 2008.

OWEN, E.; KLOPFENSTEIN, T.; URIO, N.A. **Treatment with other chemicals**. p.248-275. In: *Straw and fibrous by-products as feed*. Sundstol, F.; Owen, E. (ed.). Elsevier. Sci. Pub. Co., 1984.

ØRSKOV, E.R. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVENS, D.I.; OWEN, E.; AXFORD, R.F.E.; OMED, H.M. (Ed.). Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: CAB International p.175-187, 2000.

PÁDUA, F.T.; ALMEIDA, J.C.C.; NEPOMUCENO, D.D.; CABRAL NETO, O.; DEMINICIS, B.B. Efeito da dose de uréia e período de tratamento sobre a composição do feno de *Paspalum notatum*. **Arquivo Brasileiro de Zootecnia**, v.60, p.57-62, 2011.
PEIXOTO, A.M.; DE MOURA, J.C.; DE FARIA, V.P. **Confinamento de Bovinos de Corte – FEALQ**, p.7-20, Piracicaba – SP, 2012.

PEREIRA, J.C.; DE ALMEIDA, M.S.; CECON, P.R.; DE QUEIROZ, A.C. Dinâmica da degradação ruminal por novilhos mantidos em pastagem natural, em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.740-748, 2002.

PIRES, A.J.V.; GARCIA, R.; FILHO, S.C.V.; PEREIRA, O.G.; CECON, P.R.; SILVA, F.F.; SILVA, P.A.; ÍTAVO, L.C.V. Degradabilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra e, ou, sulfeto de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.1071-1077, 2004.

QUEIROZ, A.C.; BARBOSA, M.A.; RESENDE, F.D.; PEREIRA, J.C.; DUTRA, A.R. Suplementação da palhada de milho na alimentação de bovinos. 1. Consumo, taxa de passagem da matéria seca, degradação *in situ* da matéria seca e da fibra em detergente neutro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.381-389, 1998.

ROSEIRA, J.P.S. **Casca de café tratada com óxido de cálcio em condição de aerobiose ou anaerobiose**. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

REIS, R.A. Amonização de resíduos de culturas de inverno. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.5, p.787-793, 1993.

RUSSEL, J.R.; LOY, D.D.; ANDERSON, J.; CECAVA, M. Potential of Chemically Treated Corn Stover and Modified Distiller Grains as a Partial Replacement for Corn Grain in Feedlot Diets. **Animal Industry Report**: AS 657, ASL R2586.

SANTOS, V.P. **Degradabilidade in situ da matéria seca, matéria orgânica , fibra em detergente neutro e ácido e digestibilidade in vitro da cana-de-açúcar fresca ou ensilada e silagem de milho em diferentes ambientes ruminais**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, São Paulo. Universidade Federal de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2006.

SHRECK, A.L. **Use of Alkaline Treated Crop Residues as Partial Grain Replacements for Finishing Cattle**. Theses and Dissertations in Anima Science. Lincoln: University of Nebraska, 74 p., 2013.

SOEST, P.J.van. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2nd ed., Ithaca, New York: Cornell University Prees, 1994. 476p.

SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; WALDO, D.R. In vitro digestion rate of forage cell wall components. **Journal of Dairy Science**, v.54, n.1, p.71-76, 1971.

SUNDSTOL, F. Ammonia treatment of straw: Methods for treatment and feeding experience in Normay. **Animal Feed Science Technology**, v.10, n.2, p.173-187, 1984.

VALLONE, M.M.; **Casca de café (*Coffea arábica L.*) tratada com óxido de cálcio: Digestibilidade e desempenho de cordeiros**. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras, 2009.

