

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

LUMENA SOUZA TAKAHASHI

Inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* na silagem de cana-de-açúcar
como fonte alimentar alternativa para ovinos

Piracicaba

2023

LUMENA SOUZA TAKAHASHI

Inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* na silagem de cana-de-açúcar como fonte alimentar alternativa para ovinos

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências

Area de concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Adibe Luiz Abdalla

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lopes Dias da Costa

Piracicaba

2023

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Takahashi, Lumena Souza

Inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* na silagem de cana-de-açúcar como fonte alimentar alternativa para ovinos / Lumena Souza Takahashi; orientador Adibe Luiz Abdalla, co-orientador Ricardo Lopes Dias da Costa. - - Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

105 p.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2023.

1. Análise de alimentos para animais 2. Digestibilidade 3. Metano 4. Nutrição animal 5. Plantas oleaginosas 6. Produção animal 7. Ruminantes I. Título.

CDU (591.53 + 636.085.3)

Elaborada por:

Marília Ribeiro Garcia Henyei

CRB-8/3631

Resolução CFB N° 184 de 29 de setembro de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese aos meus pais, Valkíria e Wagner, e não poderia ser diferente. A eles, que me ensinaram valores de integridade, honra, dedicação e amor através de exemplo, por ser quem são. Pelo suporte incondicional e pelo incentivo de voar cada dia mais longe e alto, mas com a certeza de que meu porto seguro continua intacto, sempre me esperando voltar. Por se permitirem explorar o mundo, vencendo seus próprios medos, para me encontrar quando tive que me ausentar de casa, e que assim continuarão fazendo, só para me ver crescer (ainda que já adulta (ou não), um pouco mais de perto). A vocês, dedico minha tese, minha trajetória de vida e acadêmica, nossas conquistas, e meu amor. Sem vocês eu nada seria.

Com muito amor e gratidão,

Lumena

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a mim mesma, por concluir essa jornada, a mais desafiadora que vivi até aqui. Por ter tido coragem para enfrentar e vencer esse longo processo (as vezes sem coragem também, mas seguindo). Por chegar até aqui mesmo, muitas vezes, duvidando da minha própria capacidade e vencendo em cada etapa. Por ter me abdicado de muitas coisas durante esse processo para dar um passo além e me permitir vivenciar experiências que nunca antes tinham feito parte dos meus planos, e que foram maravilhosas. A Lumena de hoje está muito orgulhosa da Lumena de 4 anos atrás que não queria saber de fazer um doutorado, obrigada (eu) pela teimosia de ter continuado.

A Deus, pela proteção, guia e por ouvir meus agradecimentos, preces e reclamações nesta jornada da vida.

A minha família, meus pais Wagner e Valkíria pelo suporte incondicional, meu irmão, Guilherme, por estar presente, mesmo de longe, e por toda ajuda nos meus trabalhos acadêmicos com revisão de inglês.

À minha companheira canina de longa data, Clara, que mais uma vez esteve, literalmente, ao meu lado (dormindo na cama ou na escrivaninha) durante todo processo de escrita desta tese e sendo meu suporte emocional (bem como durante toda minha graduação e mestrado).

Ao meu orientador Dr. Adibe Luiz Abdalla pelo apoio, paciência, conselhos, incentivo. Obrigada por todas as oportunidades e por confiar em mim, me abrindo muitos caminhos que eu não imaginava, tenho muitíssimo a agradecer.

Ao meu coorientador Dr. Ricardo Lopes Dias da Costa, meu pai acadêmico desde 2017, sempre me incentivando e acreditando no meu potencial, mais do que eu mesma. E por todas as longas conversas formais e informais, que foram essenciais durante esses anos (minha tese em turismo eu dedico a você).

Aos meus orientadores do CLIFF-GRADS, Dra. María Esperanza Cerón Cucchi e Dr. José Ignacio Gere, pela oportunidade de participar do primeiro experimento de mensuração de gases de efeito estufa em lhamas da Argentina, por me receberem nas suas próprias casas e nas suas famílias, pela amizade construída e por todos os bons momentos compartilhados, vocês são pessoas excepcionais. E a todos os colegas e pessoal técnico da unidade de pesquisa INTA-Abra Pampa por todo ensinamento e troca durante minha estadia. Muchas gracias!

Ao meu orientador do doutorado sanduíche, Dr. Vincent Niderkorn, sempre muito solícito e que abriu as portas para me receber no INRAE, me proporcionando muito aprendizado técnico, acadêmico e de vida durante esses meses. E a todos os demais pesquisadores, técnicos e trabalhadores da unidade de pesquisa UMRH. Merci beaucoup!

Aos meus amigos, colegas, estagiários e técnicos do Laboratório de Nutrição Animal – LANA/CENA/USP por todos esses anos de convivência, troca de conhecimento, por toda ajuda e por todos os cafés compartilhados. Em especial aos Desregulados, amizade para além da academia.

A todos meus amigos do INRAE: Alyce, por dividir a casa e muitos bons momentos; Carlos, meu companheiro de bureau; Ezequiel, meu abuelo preferido; María, Blandine e Seoyoung, as melhores vizinhas Chocolatines; Amanda, Abimael e Rongcai, por todos os bons momentos compartilhados. Minha estadia não teria sido tão fácil sem vocês por lá.

As minhas amigas-irmãs, Julia, Mariane, Thábata e Vitoria, por estarem presentes todos os dias, apoiando, incentivando e torcendo por mim. Melhores que vocês não existem.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo – CENA/USP e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências pela oportunidade da realização do doutorado.

Ao Instituto de Zootecnia (IZ) por toda estrutura, instalações e material compartilhado para execução deste projeto. Aos técnicos, estagiários, ICs, funcionários, por toda ajuda na implantação e desenvolvimento dos experimentos.

Ao Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) e Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, Argentina (UTN – FRBA) pela estadia e aprendizado.

Ao Institut National de la Recherche Agronomique (INRAE) – Centre Auvergne Rhône Alpes – França, pela estrutura fornecida para realização do meu doutorado sanduíche.

A Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases pela bolsa de estudos CLIFF-GRADS e oportunidade de participar de um programa mundial de excelência para pesquisadores em início de carreira.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - Processo nº 2021-03409-3), pelo financiamento do projeto.

Por fim, ao longo de 4 anos são muitos nomes, pessoas, lugares, impossível mencionar tantos. Então, à todas as pessoas que encontrei, a curto ou longo prazo, e de alguma maneira fizeram parte dessa jornada.

A todos, muito obrigada!

“O navio está seguro quando está no porto, mas não é para isso que servem os navios.”

(John A. Shedd, 1928)

RESUMO

TAKAHASHI, L.S. **Inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* na silagem de cana-de-açúcar como fonte alimentar alternativa para ovinos**. 2023. 105 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

A produção de ruminantes no Brasil é feita majoritariamente em sistemas de pastagem com gramíneas tropicais, nos quais a alimentação dos animais é dependente da disponibilidade de forragem e que varia de acordo com a época do ano, sendo comum o uso da cana-de-açúcar (CA) na alimentação animal, porém, esta cultura apresenta qualidade nutricional inferior à demanda dos animais. A inclusão de fontes proteicas na CA é uma alternativa para melhorar a qualidade do alimento ao passo que reduz a necessidade de suplementação proteica com alimentos concentrados, que representam alto custo desta cadeia de produção. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de duas plantas não convencionais na alimentação de ruminantes, *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD), como alternativas alimentares sustentáveis e eficientes para produtores da cadeia produtiva ovina e, para isso, este trabalho foi dividido em três etapas: 1) avaliação *in vitro* de degradabilidade e produção de gases; 2) avaliação *in vivo* de digestibilidade dos nutrientes; e 3) produção de gases e mensuração de CH₄ *in vivo*. Os tratamentos foram formulados de acordo com a inclusão de MO e TD na silagem de CA, com base na matéria seca, como segue: TC: 100% CA; T1= 75% CA + 25% MO; T2= 50% CA + 50% MO; T3= 25% CA + 75% MO; T4= 75% CA + 25% TD T5= 50% CA + 50% TD; T6= 25% CA + 75% TD. Na avaliação *in vitro* das silagens, a inclusão de MO e TD melhorou significativamente ($P<0,05$) a qualidade nutricional da silagem de CA através do aumento de proteína bruta, reduzindo a produção de gases total em T3, T4, T5 e T6, enquanto foi observada a redução da emissão de CH₄ apenas em T5. Já nos ensaios *in vivo*, a inclusão de MO e TD não foi significativa na maioria dos parâmetros de digestibilidade e também não influenciou a emissão de CH₄ pelos animais ($P>0,05$), porém, aumentou significativamente a digestibilidade de proteína bruta ($P<0,05$). Os resultados encontrados neste trabalho indicam que tanto a MO quanto a TD são plantas alternativas com potencial para serem utilizadas na dieta de ovinos pois representa uma fonte de proteína de baixo custo, comparada com alimentos tradicionais, promovendo aporte proteico capaz de incrementar a dieta e contribuir com o desempenho animal.

Palavras-chave: Nutrição. Fonte proteica. Digestibilidade. Produção de gases. Metano entérico.

ABSTRACT

TAKAHASHI, L.S. **Inclusion of *Moringa oleifera* and *Tithonia diversifolia* in sugarcane silage as an alternative feed source for sheep.** 2023. 105 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

Livestock production in Brazil is predominantly carried out in tropical grass pasture systems, where animal feeding is dependent on the availability of forage, which varies according to the season, being common the use of sugarcane (SC) in animal feed, however, this plant has lower nutritional quality than the animals' requirements. The inclusion of protein sources in SC is an alternative to improve the feed quality while reducing the need for protein supplementation with concentrated feeds, which represent a high cost in this production chain. Therefore, the aim of this study was to evaluate the utilization of two unconventional plants, *Moringa oleifera* (MO) and *Tithonia diversifolia* (TD), as sustainable and efficient feed alternatives for sheep producers. The study was divided into three stages: 1) *in vitro* evaluation of degradability and gas production; 2) *in vivo* digestibility evaluation; and 3) *in vivo* gas production and methane measurement. The treatments were formulated based on the inclusion of MO and TD in SC silage, on a dry matter basis, as follows: TC: 100% SC; T1= 75% SC + 25% MO; T2= 50% SC + 50% MO; T3= 25% SC + 75% MO; T4= 75% SC + 25% TD; T5= 50% SC + 50% TD; T6= 25% SC + 75% TD. In the *in vitro* evaluation of silages, the inclusion of MO and TD significantly improved ($P<0.05$) the nutritional quality of SC silage by increasing crude protein content, while reducing total gas production in T3, T4, T5, and T6. Methane emission reduction was observed only in T5. In the *in vivo* trials, the inclusion of MO and TD was not significant in most digestibility parameters and did not influence methane emission by the animals ($P>0.05$). However, it significantly increased crude protein digestibility ($P<0.05$). The results of this study indicate that both MO and TD are alternative plants with the potential to be used in sheep diets, as they provide a low-cost protein source compared to traditional feeds, promoting protein intake that can enhance the diet and contribute to animal performance.

Key-words: Nutrition. Protein source. Digestibility. Gas production. Enteric methane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mudanças de <i>Moringa oleifera</i> plantadas em sacos (esquerda) e mudas transferidas ao solo. Fonte: Arquivo pessoal.....	29
Figura 2. Plantação de <i>Tithonia diversifolia</i> por estacas (esquerda) e plantas em fase de crescimento (direita). Fonte: Arquivo pessoal.	29
Figura 3. Pré-secagem de <i>Moringa oleifera</i> (esquerda) e <i>Tithonia diversifolia</i> (direita) para produção de silagem. Fonte: Arquivo pessoal.....	30
Figura 4. Preparação das misturas para ensilagem, cana-de-açúcar e <i>Tithonia diversifolia</i> após picagem (esquerda) e com adição de cal micro processada (direita). Fonte: Arquivo pessoal.....	31
Figura 5. Silos dos tratamentos de tambor (ao fundo) e em sacos de ensilagem (a frente). Fonte: Arquivo pessoal.....	31
Figura 6. Linha de <i>Moringa oleifera</i> com, aproximadamente, 30 dias após o primeiro corte. Fonte: Arquivo pessoal.....	32
Figura 7. Linhas de <i>Tithonia diversifolia</i> com, aproximadamente, 30 dias após segundo corte. Fonte: Arquivo pessoal.....	32
Figura 8. Ensaio de produção de gases <i>in vitro</i> : coleta de gás (esquerda) e esvaziamento dos frascos após coleta do gás. Fonte: Arquivo pessoal.....	62
Figura 9 - Volume de gás observado versus volume de gás predito pelo modelo logístico-exponencial (Wang, Tang e Tan, 2011) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Moringa oleifera</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48h). Fonte: Próprio autor.....	67
Figura 10 - Volume de gás observado versus volume de gás predito pelo modelo logístico-exponencial (Wang, Tang e Tan, 2011) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Tithonia diversifolia</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48 h). Fonte: Próprio autor.....	68
Figura 11 – Frente do galpão onde foi realizado o ensaio <i>in vivo</i> de digestibilidade (esquerda) e gaiola de metabolismo com os animais do experimento (direita). Fonte: Arquivo pessoal.....	84
Figura 12 – Divisão dos animais em lotes do ensaio de produção de CH ₄ entérico <i>in vivo</i>	88
Figura 13 – Câmaras respirométricas. Fonte: Arquivo pessoal.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Qualidade e composição química (g/kg MS) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Moringa oleifera</i>	64
Tabela 2 - Qualidade e composição química (g/kg MS) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Tithonia diversifolia</i>	64
Tabela 3 - Parâmetros de produção de gases e degradabilidade de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Moringa oleifera</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48 h)	65
Tabela 4 - Parâmetros de produção de gases e degradabilidade de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Tithonia diversifolia</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48 h)	66
Tabela 5 - Potencial (ml/g MS) e taxa de fermentação ruminal (ml/h) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Moringa oleifera</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48h)	66
Tabela 6 - Potencial (ml/g MS) e taxa de fermentação ruminal (ml/h) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de <i>Tithonia diversifolia</i> em ensaio <i>in vitro</i> de produção de gases (48 h)	67
Tabela 7 - Composição bromatológica dos ingredientes utilizados na formulação das dietas.....	85
Tabela 8 - Formulação das dietas e composição bromatológica dos tratamentos (volumoso).....	86
Tabela 9 - Concentração de taninos nas silagens de cana-de-açúcar (SCA) com inclusão de <i>Moringa oleifera</i> (MO) e <i>Tithonia diversifolia</i> (TD).....	90
Tabela 10 - Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) (%) de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de <i>Moringa oleifera</i> (MO) e <i>Tithonia diversifolia</i> (TD).....	91
Tabela 11 - Balanço de nitrogênio (Bal N), nutrientes digestíveis totais (NDT) e nitrogênio amoniacal do líquido ruminal (N-NH ₃) de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de <i>Moringa oleifera</i> (MO) e <i>Tithonia diversifolia</i> (TD).....	91
Tabela 12 - Produção de CH ₄ entérico de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de <i>Moringa oleifera</i> (MO) e <i>Tithonia diversifolia</i> (TD)....	92

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIações

MS	Matéria seca
CA	Cana-de-açúcar
SCA	Silagem de cana-de-açúcar
PB	Proteína bruta
MO	Moringa oleifera
TD	Tithonia diversifolia
GEE	Gases de efeito estufa
NDT	Nutrientes digestíveis totais
LANA	Laboratório de Nutrição Animal
CENA	Centro de Energia Nuclear na Agricultura
IZ	Instituto de Zootecnia
LIG	Lignina
CNF	Carboidrato não fibroso
N-NH ₃	Nitrogênio amoniacal
FDN	Fibra em detergente neutro
MOVD	Matéria orgânica verdadeiramente degradada
MOr	Matéria orgânica
FP	Fator de partição
MM	Matéria mineral
NetGP	Produção total de gases
DMS	Degradabilidade da matéria seca
DMO	Degradabilidade da matéria orgânica
FDA	Fibra em detergente neutro

LISTA DE SÍMBOLOS

ha	Hectare
CO ₂	Gás carbônico
CH ₄	Metano
ha	Hectare
m	Metros
kg	Quilos
cm	Centímetros
g	Gramas
mm	Milímetros
NO ₂	Óxido nitroso
H ₂	Hidrogênio
L	Litros
mL	Mililitro
psi	Pressão medida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1. Justificativa	25
1.2. Uso da cana-de-açúcar como parâmetro controle	26
1.3. Objetivos	28
1.4. Período pré-experimental	28
1.5. Manejo da <i>Moringa oleifera</i> e da <i>Tithonia diversifolia</i>	31
Referências	34
2 REVISÃO DE LITERATURA	40
2.1. Uso da silagem de cana-de-açúcar para alimentação animal	40
2.2. Plantas com alta proteína como ingrediente para melhorar a silagem de cana-de-açúcar	41
2.3. <i>Moringa oleifera</i>	42
2.4. <i>Tithonia diversifolia</i>	45
2.5. Ensaio de digestibilidade	45
2.6. Emissão de metano entérico dos ruminantes	48
Referências	50
3 AVALIAÇÃO <i>IN VITRO</i> DE SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR COM INCLUSÃO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> E <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i>	57
3.1. Introdução	58
3.2. Material e métodos	59
3.2.1. Produção de silagem	59
3.2.2. Ensaio de produção de gases <i>in vitro</i>	60
3.2.3. Modelagem da cinética de produção de gases <i>in vitro</i>	62
3.2.4. Análise estatística	63
3.3. Resultados	63
3.4. Discussão	68
3.4.1. Qualidade e composição nutricional	68
3.4.2. Produção de gases e degradabilidade	71
3.4.3. Perfil de fermentação	73

3.5. Conclusão.....	74
Referências.....	74

4 DIGESTIBILIDADE E PRODUÇÃO DE GASES <i>IN VIVO</i> DE CORDEIROS ALIMENTADOS COM SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR COM INCLUSÃO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> E <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i>	81
4.1. Introdução.....	82
4.2. Material e métodos	84
4.2.1. Análise estatística	89
4.3. Resultados.....	89
4.4. Discussão	92
4.4.1. Taninos	92
4.4.2. Consumo e digestibilidade dos nutrientes	93
4.4.3. Balanço de nitrogênio, nutrientes digestíveis totais e nitrogênio amoniacal ...	97
4.4.4. Metano entérico	98
4.5. Conclusão.....	99
Referências.....	100

1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura se faz presente em praticamente todo o mundo pela rusticidade da espécie e alto poder de adaptação às mais distintas vegetações, climas e relevos (BARBA et al., 2016; VIDAL GONZÁLES et al., 2016). Apesar do consumo de carne ovina no Brasil ser menor quando comparado a outros produtos de origem animal, a ovinocultura é uma área em ascensão devido ao potencial do mercado da carne de cordeiro e pelo potencial de produção dos estados brasileiros (SILVA et al., 2017; CASTRO et al., 2012).

A produção de carne tornou-se o principal objetivo da ovinocultura (SANTOS et al., 2008). Porém, é necessária adoção de medidas alternativas a fim de minimizar os custos e maximizar a produção dos sistemas de criação visto que, a maior parcela de custos desta cadeia produtiva e um dos principais fatores que influencia na sua sustentabilidade é a alimentação animal (DECKER et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017). Em função do crescimento da demanda na produção de alimentos em quase 50% até o ano de 2050 (FAO, 2018), torna-se essencial o aumento na produção e na eficiência da cadeia produtiva ovina (MONTOSI et al., 2013).

O Brasil ocupa a sétima posição entre os países com a maior área de pastagem do mundo (FAO, 2020), ocupando uma área de, aproximadamente, 167 milhões de hectares, correspondentes à 66% da área total ocupada pelo setor agropecuário (MAPBIOMAS, 2020). Durante o período das águas, entre a primavera e verão, há grande disponibilidade de forragens com bom valor nutricional (MAGALHÃES et al., 2012) enquanto, no período seco, entre as estações de outono e inverno, a qualidade nutricional das pastagens é reduzida, além de apresentar baixa produção de matéria seca (MS), tornando-se necessária suplementação alimentar para suprir as exigências nutricionais do rebanho (FERNANDES, 2017; MEDEIROS et al., 2015). Sendo assim, o manejo alimentar adequado é uma estratégia para elevar a economia da atividade na ovinocultura através da disponibilização de alimentos de bom valor nutritivo e baixo custo (OLIVEIRA et al., 2017). Neste contexto, a utilização de plantas com boa produtividade e características nutricionais desejáveis é importante para alimentação animal (MEDEIROS et al., 2015). Além disso, como alternativa para reduzir a deficiência alimentar na seca, a utilização de forragens conservadas, como a silagem, possibilita a manutenção da regularidade dos sistemas de produção (VOLTOLINI et al., 2019).

Na região do Brasil central, durante o período de estiagem, o uso de cana-de-açúcar (CA) em natura e da silagem de cana-de-açúcar (SCA) como suplemento volumoso é prática comum (LUCCHI et al., 2003). Seu uso na alimentação de ruminantes destaca-se devido ao baixo risco de utilização, manutenção do valor nutritivo, disponibilidade nos períodos de seca e baixo custo por unidade de MS produzida (NUSSIO; SCHMIDT; PEDROSO, 2003). Apesar da CA ser importante alternativa para suplementação do rebanho no período de escassez de forragens, não é recomendada como dieta exclusiva por se tratar de um alimento desbalanceado e com baixos teores proteicos, que variam entre o 1,91 a 3,81% de proteína bruta (PB) (ROTH et al., 2010). Os resultados de trabalhos com ruminantes recebendo como dietas básicas CA, evidenciaram que as maiores taxas de digestibilidade de MS foram diretas e positivamente relacionadas à qualidade e quantidade de suplemento nitrogenado incluído nas dietas (LUDOVICO; MATOS, 1997; LUCCHI et al., 2003). Esse fato é perfeitamente compreensível já que a digestão no rúmen, de um alimento rico em sacarose, dependerá da interação energia-nitrogênio. Desta maneira, uma alternativa possível é a associação da CA com outras plantas que possam complementar a deficiência nutricional das silagens exclusivas de CA.

Diante disso, a *Moringa oleifera* (MO), um alimento alternativo existente no Brasil, merece destaque. É uma leguminosa arbórea, perene e tropical pertencente à família *Moringaceae* (PANDEY et al., 2011), e nativa do norte da Índia (LEONE et al., 2015) que possui elevada capacidade de adaptação a condições climáticas e a solos (OSLON; FAHEY, 2011), além de ser resistente à longos períodos de estiagem (GUALBERTO et al., 2015). A *M. oleifera* apresenta crescimento rápido, com produção superior a 15 toneladas de MS/ha/ano (KARADI et al., 2006) e alto teor de PB em suas folhas, cerca de 33,8% (GALLÃO et al., 2008), sendo assim boa fonte de volumoso para os animais, principalmente, em períodos secos (BAKKE et al., 2010). Contudo, existem lacunas de conhecimento sobre sua utilização e benefícios na alimentação animal (FERNANDES, 2017) e, tendo em vista seu grande potencial, há necessidade de maiores informações para avaliar seus efeitos sobre a produção animal e, também, determinar sua utilização como fonte alternativa na alimentação de ruminantes.

Bem como a MO, a *Tithonia diversifolia* (TD) apresenta características potenciais para utilização como fonte de alimentação volumosa para ruminantes (MAURÍCIO et al., 2017). Esta planta pertence à família *Asteraceae*, uma espécie

forageira arbustiva e perene, originária da América Central. Por possuir alto valor nutricional, é utilizada na alimentação de diversas espécies animais pelo mundo e, devido a sua raiz volumosa, pode ser cultivada em regiões mais hostis, áridas e semiáridas, além de apresentar bom crescimento em regiões de baixa precipitação pluviométrica (REIS et al., 2016; RUIZ et al., 2014; PÉREZ et al., 2009). Além de seu bom valor nutritivo, a *T. diversifolia* possui alta produção de biomassa (REIS et al., 2016), rebrota rápida, e boa aceitação pelos animais (RODRÍGUEZ et al., 2018; GARCIA et al., 2017). Calsavara et al. (2016) descreveram 22,5% de PB nas folhas da TD, contudo, a qualidade da forrageira pode variar de acordo com a idade da planta, condições ambientais e qualidade do solo.

Desta maneira, são necessárias novas pesquisas com a utilização de alimentos não convencionais na dieta animal visando conhecer e incorporar alternativas alimentares a fim de contribuir para sustentabilidade dos sistemas de criação. A hipótese deste estudo é que o uso da *Moringa oleifera* e da *Tithonia diversifolia* associadas à CA para produção de silagens, resulta na melhora de parâmetros de digestibilidade *in vivo*, na redução da produção de gases *in vitro* e redução da emissão de metano (CH₄) *in vivo* pelos animais através do aumento no teor proteico da dieta e da qualidade nutricional superior.

1.1. Justificativa

Ensaio de digestibilidade são de fundamental importância para obtenção do valor nutricional de determinada dieta, bem como elucidar a capacidade de utilização dos nutrientes pelo animal (FURTADO et al., 2012; ABIMORAD; CARNEIRO, 2004). O consumo diário de MS, a composição da dieta e sua digestibilidade são parâmetros responsáveis pelo desempenho animal. Assim, estudos para avaliação de alimentos alternativos em dietas balanceadas, ajudam a melhorar a eficiência e utilização dos nutrientes pelos ruminantes.

A produção de animais mais eficientes em conversão alimentar proporciona redução de impactos ambientais em sistemas de produção em confinamento, associado ao menor consumo de alimentos e melhor desempenho com rendimento de carcaça (LIU et al., 2000). Adicionalmente, animais mais eficientes podem apresentar redução na produção de gás carbônico (CO₂) e CH₄ por quilograma de carne produzida (MILLIS et al., 2009). Além do benefício ao meio ambiente, a melhoria

na eficiência alimentar implica em grande impacto econômico, por se tratar de uma variável diretamente associada ao custo de alimentação.

A produção de carne animal para consumo humano contribui, significativamente, no cenário global dos gases de efeito estufa (GEE) pois, durante o processo de digestão dos animais ruminantes ocorre a formação natural de CH₄, considerado um dos GEE de origem entérica (ARMANDO; CÁRDENAS; LEMUS, 2013). Neste contexto, o setor agropecuário brasileiro é responsável por 25% da emissão total do país dos GEE (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012). E, através de mudanças na dieta dos ruminantes, a emissão de CH₄ pode ser reduzida em até 10% por quilograma de carne produzida (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012). Adicionalmente, a produção de gases entéricos está estritamente relacionada com a microbiota ruminal, e merece ser investigada.

O rúmen possui comunidades microbianas complexas com interações de cooperação mútua obrigatória (ARCURI; MANTOVANI, 2015; LOPES et al., 2015), que podem sofrer interferência direta da composição da dieta (ARCURI; LOPES; CARNEIRO, 2006). Elucidar os fatores que afetam a microbiota animal auxiliam no entendimento de como a aptidão física dos animais é afetada (BAHRNDORFF et al., 2016). Através de técnicas moleculares é possível compreender a composição e a capacidade metabólica do microbiota de determinado hospedeiro. Além disso, tais estudos estendem-se sobre o âmbito nutricional da produção animal e, também, na mitigação de CH₄ via manipulação da dieta (BAHRNDORFF et al., 2016; CARBERRY et al., 2012; McCANN; WICKERSHAM; LOOR, 2014; THORPE, 2009). Desta maneira, a estratégia para investigar estudos sobre a microbiota ruminal se faz necessária para resolver lacunas de conhecimento sobre a manipulação da alimentação de ruminantes. (BAHRNDORFF et al., 2016; RUSSELL, 2002).

1.2. Uso da cana-de-açúcar como parâmetro controle

Sabe-se pouco sobre o padrão fermentativo da MO e da TD em processo de conservação de forragens e sabe-se menos ainda no processo de combinação com forragens de elevada concentração de açúcares solúveis, como a CA.

O uso da CA é prática comum nos períodos de baixa produção de MS das pastagens, no entanto, é um alimento desbalanceado e com baixo teor de proteína (2,92% PB, CIRNE et al., 2014), sendo necessário sua correção com adição de outros

alimentos ou aditivos. A CA como forrageira destaca-se pela alta produtividade de massa verde (80 a 150 toneladas/ha/ano) e de nutrientes digestíveis totais (NDT) (cerca de 15 a 20 toneladas em um único corte), pela manutenção do valor nutritivo até seis meses após a maturação e pelo período de colheita coincidente com a época de escassez de forragem nas pastagens, apresentando seu maior valor nutritivo, representado, principalmente, pelo conteúdo de sacarose, exatamente nesta época (NETO, 2007), o que a torna insuperável em termos de produção de MS e energia/ha, em um único corte (THIAGO; VIEIRA, 2002). O uso de CA para silagem é uma opção cada vez mais utilizada por evitar a necessidade de corte diário da forragem, atividade que demanda muita mão-de-obra aumentando os custos de produção. Além disso a silagem é uma opção para manter o valor nutritivo da CA quando ocorre incêndio na área ou quando a forragem não precisará ser utilizada no período. Porém, os desafios para fazer uma SCA de boa qualidade são grandes. Neste contexto, a associação da MO e da TD com a CA permite aumentar o teor de PB da silagem obtida, promovendo melhor padrão fermentativo das silagens, e possivelmente aumentando digestibilidade das porções fibrosas da parede celular pela maior concentração de frações de carboidratos solúveis residuais, como tem demonstrado os trabalhos com amoreira (OKAMOTO et al., 2011; DAVID et al., 2015), pois, a combinação de alimentos promove alterações no processo metabólico no rúmen, devido às interações digestivas dos alimentos o que podem ocasionar uma resposta positiva ou negativa dependendo dos componentes avaliados individualmente, ou seja, o efeito associativo dos alimentos (MOULD et al., 1983; DIXON; STOCKDALE, 1999).

As espécies de plantas propostas para uso neste trabalho possuem alta produção de biomassa, porém são muito dependentes das condições climáticas, podendo variar tanto em biomassa quanto em suas composições bromatológicas, como já explicado anteriormente. Entretanto, as duas plantas (MO e TD) servem para o consumo de diferentes modos: inteira ou picada e oferecida direto no cocho, silagem, pré-emurchedida e também por pastejo direto. Porém, a ideia de estudá-las como componentes da silagem juntamente com a CA é viável pela qualidade nutricional das plantas. O objetivo foi utilizar a *M. oleífera* e a *T. diversifolia* em proporções diferentes adicionadas à CA, aproveitando, ao máximo, as características da CA quanto ao seu potencial produtivo (biomassa) e carboidratos. Da mesma forma, com a utilização em forma de silagem, é possível otimizar o serviço de ensilagem em poucos dias (versus a necessidade do corte diário), armazenar alimento para qualquer

época do ano (incluindo períodos de escassez, em diferentes épocas do ano dependendo da região) e, principalmente, fazer o corte das plantas no melhor momento, pelas suas características, sendo um modo de oferecimento e armazenagem interessante para os pequenos e médios produtores.

1.3. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de duas plantas não convencionais na alimentação de ruminantes, *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia*, como alternativas alimentares sustentáveis e eficientes para produtores da cadeia produtiva ovina.

Para isso, os objetivos específicos foram determinar níveis de substituição de fonte volumosa convencional por MO e TD no processo de ensilagem para alimentação de ovinos através da avaliação *in vitro* de degradabilidade e produção de gases das silagens, da avaliação de parâmetros de digestibilidade através de ensaio de digestibilidade *in vivo* e por meio de ensaio de produção de gases com mensuração da produção de CH₄ *in vivo*, a fim de elucidar os eventos em resposta às dietas propostas.

1.4. Período pré-experimental

Este trabalho foi dividido em três etapas, sendo as etapas I, III na cidade de Piracicaba - SP, nas instalações do Biotério do Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), cujas coordenadas geográficas são 22°23'31"S, 47°38'57"O e altitude de 547m e a etapa II no setor de confinamento de ovinos e no Laboratório de Avaliação de Produtos de Origem Animal (Laboratório de Carnes) do Instituto de Zootecnia (IZ), da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, na cidade de Nova Odessa – SP, cujas coordenadas geográficas são 22°46'39"S, 47°17'45"O e altitude de 570 m.

Parte das plantas necessárias para realização dos experimentos, tanto de MO (IZ) quanto de TD (IZ e CENA), já estavam estabelecidas antes do início do projeto e eram utilizadas em outros projetos pelas duas instituições; outra parte, necessária para completar a quantidade de alimento utilizado para os ensaios de digestibilidade e produção de gases *in vivo* (etapas II e III), de ambas as plantas, foi plantada no

Instituto de Zootecnia de Nova Odessa entre os anos de 2019 e 2021 e os cortes foram executados de acordo com o crescimento das plantas para produção de silagem.

Figura 1. Mudas de *Moringa oleifera* plantadas em sacos (esquerda) e mudas transferidas ao solo.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 2. Plantação de *Tithonia diversifolia* por estacas (esquerda) e plantas em fase de crescimento (direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

A CA (cultivar IAC 86-2480) já estava estabelecida nas dependências desse mesmo instituto. Considerando resultados prévios de outros estudos do Instituto, a produção de biomassa, respectivamente para a MO e para a TD foram, em média, de 2,3 kg e 4,2 kg de matéria verde por planta.

Foram colhidas todas as plantas de MO e TD, sendo que não houve padronização da altura de corte nos diferentes momentos de produção de silagem,

mas que variavam entre 1,70 a 2,50 m e entre 1,50 m a 2,50 m (dependendo da época de corte e condições climáticas), respectivamente, e foi efetuado o corte das mesmas respeitando-se de 20-30 cm do nível do solo. Essas alturas foram estabelecidas por pré-experimentos realizados no IZ e no CENA. A CA forrageira foi em parte colhida no IZ e em parte adquirida de produtores externos, com cerca de dez meses de crescimento vegetativo. Após corte das plantas, tanto a MO como a TD, foram submetidas à pré-secagem à temperatura ambiente e em galpão ventilado, durante 16 a 24 horas (Figura 3).

Figura 3. Pré-secagem de *Moringa oleifera* (esquerda) e *Tithonia diversifolia* (direita) para produção de silagem.



Fonte: Arquivo pessoal.

Todas as plantas, incluindo a CA, foram picadas, espécie por espécie, em picadora estacionária a tamanho médio de partículas de 2,0 a 2,5 cm; o material picado foi pesado individualmente e distribuído sobre lona plástica, para confecção das silagens de acordo com os tratamentos propostos, para cada etapa experimental (Figura 4).

Figura 4. Preparação das misturas para ensilagem, cana-de-açúcar e *Tithonia diversifolia* após picagem (esquerda) e com adição de cal micro processada (direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

Nas duas primeiras produções de silagem, os silos foram confeccionados em tambores de 200 L compactados manualmente e, nas demais produções, as silagens foram compactadas utilizando ensiladeira automática em sacos plásticos próprios (Figura 5).

Figura 5. Silos dos tratamentos de tambor (ao fundo) e em sacos de ensilagem (a frente).



Fonte: Arquivo pessoal.

1.5. Manejo da *Moringa oleifera* e da *Tithonia diversifolia*

O primeiro campo de MO, na Unidade de Ovinos/IZ, foi implantado em 2018. As MO utilizadas foram provenientes dos cultivares comercial (*Moringa oleifera* Lam.) e estão inseridas numa área projetada para sistemas integrados do IZ, cultivadas em

linhas com distância de 50 cm entre plantas (Figura 6). O segundo campo foi estabelecido no ano de 2020 e o terceiro, em 2021, com um espaçamento de 30 cm entre plantas e de 1 m entre linhas.

Figura 6. Linha de *Moringa oleifera* com, aproximadamente, 30 dias após o primeiro corte.



Fonte: Arquivo pessoal.

Os campos de TD, tanto no Cena (formado em 2019) quanto no IZ (2020), tem espaçamentos entre plantas de, aproximadamente, 1 m (Figura 7), enquanto o espaçamento entre linhas variou de acordo com cada campo.

Figura 7. Linhas de *Tithonia diversifolia* com, aproximadamente, 30 dias após segundo corte.



Fonte: Arquivo pessoal.

Sabe-se que após a floração, as plantas começam a perder seu valor nutritivo; sendo assim, o melhor (em termos bromatológicos) é fazer o corte antes da floração. Entretanto, de acordo com a região e/ou estação do ano, a floração acontece em idades e alturas diferentes, dificultando precisar o tempo do corte. Na Colômbia, por exemplo, para a TD, alguns trabalhos relatam a floração ocorrendo dentro dos 60 dias de crescimento, ao longo de boa parte do ano; já em algumas regiões do Brasil (como no caso da região de Piracicaba), a floração chega a ocorrer de 2 a 3 vezes por ano, independentemente da idade e/ou altura da planta. Em trabalho apresentado no “FAO/IAEA International Symposium on Sustainable Animal Production and Health – Current Status and Way Forward (2021)” realizado em Viena, Áustria, os pesquisadores apresentaram resultados de 2 anos de estudos para a introdução da TD no CENA/USP que demonstraram que a produção e qualidade da biomassa desta planta está diretamente relacionada à temperatura de orvalho (Dew Point Temperature) e também apresentou potencial para sistema intercalado com gramíneas tropicais para produção de ruminantes. Os pesquisadores observaram uma produção de biomassa de 3 a 5 toneladas de MS por ha por ano para intervalos de rebrota de 4 a 5 semana e teor de PB acima de 20%.

Entretanto, em outro trabalho desenvolvido no IZ onde foram avaliadas as características bromatológicas da MO em diferentes idades e tamanhos, foi possível identificar que o melhor ponto de corte seria o citado no projeto entre 1,70 e 2,00 m de altura, como manejo ideal. De acordo com os resultados preliminares do projeto, constatou-se que plantas avaliadas com mesmas idades e com alturas distintas (alta – acima de 206 cm, médias de 178 a 199 cm e baixas de 143 a 177 cm) apresentaram resultados diferenciados nos teores de PB (173, 174 e 141 g/kg, respectivamente), enquanto lignina (LIG) foi de 109, 84,7 e 85,1 g/kg e carboidrato não fibroso (CNF) foi de 187, 229 e 168 g/kg. Evidenciando assim que em alturas superiores a 200 cm há prejuízos na composição bromatológica devido aumento de caule e diminuição de folhas, com aumento principalmente na fração fibrosa. Apesar do diferente crescimento vegetativo das plantas, a altura influenciou mais do que a idade no caso da MO. Da mesma forma, em outro trabalho desenvolvido no CENA, resultados preliminares indicaram também o melhor (até o momento) ponto de corte da TD, entre 1,00 m e 1,50 m, o que ocorre em tempos de chuva, em média de 60 dias e, em tempo de seca. Portanto, a altura de corte pode variar de acordo com várias características edafoclimáticas. Em trabalho realizado por Reis (2016), avaliando a altura de corte de

TD em diferentes idades de rebrota, no Brasil, foi observado altura média de dois cortes de 1,40 m e 0,89 m para plantas irrigadas e não irrigadas, respectivamente. Souza (2017) encontrou altura média de 3,00m, com taxa de crescimento médio de 0,03 m ao dia em plantas de TD aos 84 dias de rebrota, no período de maio a junho de 2016, em área irrigada no Brasil. Sendo assim, previamente ao desenvolvimento do projeto, foi feita uma estimativa de corte, porém o ponto de corte realizado para a confecção das silagens utilizadas neste trabalho, variou com a época do ano, altura das plantas e disponibilidade de CA, o que por vezes resultou em utilização das plantas em momentos diferentes do ponto máximo de qualidade nutricional.

Ainda, pequenos e médios produtores de ovinos necessitam de menores quantidades de volumoso em relação aos produtores de bovinos e são parte expressiva do total de produtores nesse setor. Por isso, levando-se em consideração a possibilidade de uso por pequenos e médios produtores, o manejo de corte foi o de corte manual, utilizando-se facão, que além de evitar a quebra de muitas plantas (pelo corte mecanizado), tanto pela fragilidade quanto pelo espaçamento entre linhas e/ou plantas que normalmente é proposto, ainda reduz o custo no corte para confecção das silagens, tornando-se mais viável a utilização por pequenos produtores.

Um dos maiores entraves do cultivo da MO durante a execução do projeto nos campos de plantio do IZ foram as formigas, fazendo-se necessário manejo intenso e frequente, uma vez que, mesmo em períodos de seca, as duas plantas se mantêm verdes, sendo opção para esses insetos.

Referências

ABIMORAD, E. G.; CARNEIRO, D. J. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p. 1101-1109, 2004.

ARCURI, P. B.; MANTOVANI, H. C. Recentes avanços em microbiologia ruminal e intestinal (Bio): Tecnologias para a nutrição de ruminantes. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 5., 2006, Viçosa, MG. **Tecnologias para a nutrição de ruminantes; anais**. Viçosa, MG: SIMCOTE, 2006. p. 273-312.

ARCURI, P.B.; LOPES, F.C.F.; CARNEIRO, J.C. Microbiologia do rúmen. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 1. ed. Jaboticabal: Prol editora gráfica, 2006. Cap. 5, p.111-150.

ARMANDO, J.; CÁRDENAS, B.; LEMUS, C. Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. **Revista Mexicana Ciencias Pecuarias**, v. 3, n. 2, p. 215–246, 2013.

BAHRNDORFF, S.; ALEMU, T.; NIELSEN, J.L. The Microbiome of Animals: Implications for Conservation Biology. **International Journal of Genomics**, v. 2016, art. 5304028, 2016.

BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; SOUTTO, P. C.; BAKKE, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da moringa (*Moringa oleifera lam.*) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 133-144, 2010.

BARBA, C.; FERNANDÉZ-TOMILLO, L.; JIMÉNEZ, R.; GUZMÁN, J.R.; GARCÍA, A. Valor ecológico ambiental y conservación de razas ovinas en peligro de extinción en Andalucía, **Archivos de Zootecnia**. v. 65, n. 251, p. 445-448, 2016.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 954–968, 2012.

CALSAVARA, L. H. F.; RIBEIRO, R.S.; SILVEIRA, S.R.; DELAROTA, G.; FREITAS, D.S; SACRAMENTO, J.P.; PACIULLO, D.S.C.; MAURÍCIO, R.M. Potencial forrageiro da *Tithonia diversifolia* para alimentação de ruminantes. **Livestock Research for Rural Development**, v. 28, n. 2, p. 1-9, 2016.

CARBERRY, C.A.; KENNY, D.A.; HAN, S.; MCCABE, M.S.; WATERS, S.M. Effect of phenotypic residual feed intake and dietary forage content on the rumen microbial community of beef cattle. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 14, p. 4949-4958, 2012.

CASTRO, F.A.B.; RIBEIRO, E.L.A.; KORITIAKI, N.A.; MIZUBUTI, I.Y.; SILVA, L.D.F.; PEREIRA, E.S.; PINTO, A.P.; CONSTANTINO, C.; FERNANDES JÚNIOR, F. Desempenho de cordeiros Santa Inês do nascimento ao desmame filhos de ovelhas alimentadas com diferentes níveis de energia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 3379-3388, 2012. Supl. 2.

CIRNE, L.; SOBRINHO, A.; SANTANA, V.; SILVA, F.U.; LIMA, N.L.L.; OLIVEIRA, E.A.DE; CARVALHO, G.G.P.DE; ZEOLA, N.M.B. L.; TAKAHASHI, R. Comportamento ingestivo de cordeiros alimentados com dietas contendo feno de amoreira. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, art. 1051, 2014.

DAVID, C.M.G.; DA COSTA, R.L.D.; PARREN, G.A.E.; RUA, M.A.S.; NORDI, E.C.P.; OKAMOTO, F.; PAZ, C.C.P. Sugarcane and mulberry silage supplementation of sheep during the peripartum period. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, p. 1-8, 2015.

DECKER, S.R.F.; FERNANDES, D.A.C.; GOMES, M.C. Gestão competitiva na produção de ovinos. **Revista Agropampa**, v. 1, p. 113-122, 2016.

DIXON, R.M.; STOCKDALE, C.R. Associative Effects between Forages and Grains: Consequences for Feed Utilization. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 757-773, 1999.

FAO. **Land statistics: global, regional and country trends, 1961-2018**. Rome, 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/economic/ess/environment/data/landuse-and-land-cover/en/>>.

FAO. **The State of Agricultural Commodity Markets - Agricultural trade, climate change and food security**. Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9542EN/i9542en.pdf>>.

FERNANDES, D.L. **Produtividade e composição bromatológica da forragem de moringa**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7534/2/DAVID_LOPES_FERNANDES.pdf>

FURTADO, R. N.; CARNEIRO, M.S.S.; CANDIDO, M.J.D.; GOMES, F.H.T.; PEREIRA, E.S.; POMPEU, R.C.F.F.; SOMBRA, W.A. Valor nutritivo de dietas contendo torta de mamona submetida a métodos alternativos de destoxificação para ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n. 1, p. 155-162, 2012.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p. 106-109, 2008.

GARCÍA, I.R. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. **Livestock Research for Rural Development**, v. 29, art. 63, 2017.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; ABREU, K. M. P.; LIMA PRETO, B.; FERRARI, J. L. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, p. 19-25, 2015.

KARADI, R.V.; GADGE, N.B.; ALAGAWADI, K.R.; SAVADI, R.V. Effect of Moringa oleifera Lam. Rootwood on ethylene glycol induced urolithiasis in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 105, n. 1-2, p. 306-311, 2006.

LEONE, A.; SPADA, A.; BATTEZZATI, A.; SCHIRALDI, A.; ARISTIL, J.; BERTOLI, S. Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: an overview. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 12791–12835, 2015.

LIU, M. F.; GOONEWARDENE, L.A.; BAILEY, D.R.C.; BASARAB, J. A.; KEMP, R. A.; ARTHUR, P. F.; OKINE, E. K.; MAKARECHIAN, M. A study in the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 435-441, 2000.

LOPES, L.D.; LIMA, A.O.S.; TAKETANI, R.G.; DARIAS, P.; SILVA, L.R.; ROMAGNOLI, E.M.; LOUVANDINI, H.; ABDALLA, A.L.; MENDES, R. Exploring the sheep rumen microbiome for carbohydrate active enzymes. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 108, p. 15-30, 2015.

LUCCI, C.S. Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) *in natura* ou ensilada, adicionadas ou não de uréia, em dietas para ruminantes. Digestibilidade aparente. **Boletim da Indústria Animal**, v. 60, n. 1, p. 47-53, 2003.

LUDOVICO, A.; MATTOS, W. R. S. Avaliação de dietas a base de cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum* L.) e diferentes níveis de semente de algodão (*Gossypiumhirsutum* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 2, p. 403-10, 1997.

MAGALHÃES, J.A.; CARNEIRO, M.S.de S.; ANDRADE, A.C.; PEREIRA, E.S.; SOUTO, J.S.; PINTO, M.S. de C.; RODRIGUES, B.H.N.; COSTA, N. de L.; MOCHEL FILHO, W.J.E. Eficiência do nitrogênio, produtividade e composição do capimandropogon sob irrigação e adubação. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 236, p. 577-588, 2012.

MAPBIOMAS. **Brazilian annual land use and land cover mapping project**. 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/en>>.

MAURÍCIO, R. M.; CALSAVARA, L.H.F.; RIBEIRO, R.S.; PEREIRA, L.G.R.; FREITAS, D.S.de; PACIULLO, D.S.; BARAHONA, R.; RIVERA, J.E.; CHARÁ, J. MURGUEITIO, E. Feeding ruminants using *Tithonia diversifolia* as forage. **Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research**, v. 5, n. 4, p. 117-120, 2017.

McCANN, J.C.; WICKERSHAM, T.A.; LOOR, J.J. High-throughput methods redefine the rumen microbiome and its relationship with nutrition and metabolism. **Bioinformatics and Biology Insights**, v. 8, p. 109-125, 2014.

MEDEIROS, F.F.; SILVA, A.M.A.; CARNEIRO, H.; ARAÚJO, D.R.C.; MORAIS, R.K.O.; MOREIRA, M.N.; BEZERRA, L.R. Fontes proteicas alternativas oriundas da cadeia produtiva do biodiesel para alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 2, p. 519-526, 2015.

MILLIS, J.; CROMPTON, L.A.; BANNINK, A.; TAMMINGA, S. Predicting methane emissions and nitrogen excretion from cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 147, art. 741, 2009.

MONTOSSI, F.; FONT-I-FURNOLS, M.; DEL CAMPO, M.; SAN JULIAN, R.; BRITO, G.; SANUDO, C. Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 772–789, 2013.

MOULD, F.L.; ØRSKOV, E.R.; MANNS, O. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 10, p. 15-30, 1983.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P.; PEDROSO, A.F. Silagem de cana-de-açúcar In: EVANGEISTA, A.R.; REIS, S.T.; GOMIDE, E.M. (ed.). **Forragicultura e pastagens: Temas em evidência**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2003. p. 49-72.

OKAMOTO, F.; VIDAL, A.A.; FUNAI, C.H.; MARTINS, A. N.; FURLANETO, F.P.B.; GAZOLA, E. Diferentes comprimentos de estaca e substratos na produção de mudas de amoreira (*Morus spp.*). **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 218-222, 2011.

OLIVEIRA, M.M.; CHIODI, M.S.; FERNANDES, H.J.; LISITA, F.O.; LUZ, D.F.; SALLA, L.E. *Moringa oleifera* na alimentação de bezerros lactentes da raça Pantaneira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, n. 1, p. 152-160, 2017.

OLSON, M. E.; FAHEY, J. W. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 82, p. 1071-1082, 2011.

PANDEY, A.; PRADHEEP, K.; GUPTA, R.; Roshini Nayar, E.; Bhandari, D.C. "Drumstick tree" (*Moringa oleifera Lam.*): a multipurpose potential species in India. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, p. 453–460, 2011.

PANDOLFI FILHO, A.D.; VALLE, C.B.do; BARRIOS, S.C.L.; ALVES, G.F.; DEMINICIS, B.B. Avaliação de genitoras sexuais de *Brachiaria spp.* na época seca, **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 250, p. 213-19, 2016.

PÉREZ, A.; MONTEJO, I.; IGLESIAS, J. M.; LÓPEZ, O.; MARTÍN, G. J.; GARCÍA, D. E.; MILIÁN, I.; Hernández, A. *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray. **Pastos y Forrages**, v. 32, n. 1, p. 1-15, 2009.

REIS, M.M.; SANTOS, L.T.D.; PEGORARO, R.F.; COLEN, F.; ROCHA, L.M.; FERREIRA, G.A.P. Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 1008-1013, 2016.

RODRÍGUEZ, B.; SAVÓN, L.; VÁZQUEZ, Y.; RUIZ, T.E.; HERRERA, M. Evaluación de la harina de forraje de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de gallinas ponedoras. **Livestock Research for Rural Development**, v.30, n. 3, art. 56, 2018.

ROTH, T.C.; LADAGE, L.D.; PRAVOSUDOV, V.V. Learning capabilities enhanced in harsh environments: a common garden approach.: a common garden approach. **Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 277, n. 1697, p. 3187-3193, 2010.

RUIZ, T.E.; FEBLES, G.J.; GALINDO, J.L.; SAVÓN, L.L.; CHONGO, B.B.; TORRES, V.; CINO, D. M.; ALONSO, J.; MARTÍNEZ, Y.; GUTIÉRREZ, D.; CRESPO, G. J.; MORA, L.; SCULL, I.; LA, O. O.; GONZÁLES, J.; LOK, S.; GONZÁLES, N.; ZAMORA, A. *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, v. 48, n. 1, p. 79-82, 2014.

RUSSELL, J. B. **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 2002. 121 p.

SANTOS, L.E.; CUNHA, E.A.; BUENO, M.S.; VERÍSSIMO, C.J. **Alimentação de ovinos**: Atualidades na produção ovina em pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2008. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1178134057.pdf>.

SILVA, D.G.; PILATTI, J.A.; MENEZES, B.M.; BRUM, L.P.; GOULART NETTO, C.; MARTINS, A.A. Eficácia anti-helmíntica comparativa entre diferentes princípios ativos em ovinos jovens. **Pubvet**, v. 11, n. 4, p. 356-362, 2017.

THORPE, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. **Climate Change**, v. 93, p. 407-431, 2009.

TIAGO, L. R. L. S.; VIEIRA, J. M. **Cana-de-açúcar**: uma alternativa de alimento para a seca. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2002. (Comunicado Técnico, 73).

VIDAL GONZÁLEZ, C.; BARBA, C.; PEREA, J.; ANGÓN, E.; PUNTAS, J.A.; ROUCO, A. Caracterización preliminar del sistema mixto ovino Segureño, **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 251, p. 433-35, 2016.

VOLTOLINI, T.V.; BELEM, K.V.J.; DE ARAÚJO, G.L.; DE MORAES, S.A.; GOIS, G.C.; CAMPOS, F.S. Quality of leucaena, gliricidia, and pornunça silages with different old man saltbush levels. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 5, p. 2363-2374, 2019. Supl. 1.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso da silagem de cana de açúcar para alimentação animal

O cultivo da CA se caracteriza como uma das mais importantes atividades do agronegócio brasileiro, dados da União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (UNICA – Safra 2020/2021) registraram a marca de 657,433 milhões de toneladas de material processado. Destacando-se como maior produtor mundial desta planta, há relatos da utilização desta cultura para alimentação animal como fonte volumosa desde 1913 (QUEIROZ et al., 2008). A produção global de CA atinge a marca de 1,6 bilhões de toneladas, e espera-se que a área cultivada no Brasil em 2023 atinja, aproximadamente, 8,4 mil ha, com produção de 637 mil toneladas, sendo estimado que cerca de 10% dessa produção destina-se à alimentação animal (CONAB, 2023).

A CA pertence ao gênero *Saccharum* da família *Graminae* e se desenvolve idealmente em dois períodos, época quente e úmida (desenvolvimento vegetativo) e época fria e seca (maturação e acúmulo de sacarose) (SILVA et al., 2021). Devido a essas características, a CA se apresenta como um ótimo recurso forrageiro no período de baixa produtividade de gramíneas, já que o grande acúmulo de açúcar nos colmos mantém significativamente o seu valor nutritivo durante o período seco do ano, onde há menor disponibilidade de alimentos para manutenção animal (REZENDE et al., 2011) e, por isso, é amplamente utilizada por pecuaristas como fonte suplementar de alimentação para os rebanhos (MACÊDO et al., 2012).

Além da disponibilidade da planta em época propícia, a CA apresenta alta produção de matéria verde por há por ano, entre 80 a 120 toneladas, com baixo custo de produção, quando comparado à outras culturas e é também uma planta de fácil manejo. (VOLTOLINI et al., 2012; REZENDE et al., 2009).

A nutrição desempenha um papel crucial na eficiência produtiva, podendo representar até 75% do custo total em sistemas de confinamento. Portanto, a fim de obter resultados financeiros favoráveis, é fundamental explorar opções alimentares que possuam baixo custo de produção e consigam suprir a maioria das necessidades nutricionais dos animais (ROCHA et al., 2022). Considerando esse fator e considerando que a maioria dos sistemas de criação do país são feitos em sistema de pastejos, que estão sujeitos a estacionalidade da produção das plantas forrageiras, buscam-se alternativas alimentares que, aliadas a baixo custo de produção, mantenha a qualidade e desempenho nutricional do rebanho (FERNANDES et al., 2003).

Neste contexto, apesar de ser uma ótima alternativa, a CA apresenta características desfavoráveis em relação ao consumo por ruminantes, como o baixo teor de proteína, baixa digestibilidade de fibra, alto teor de carboidratos solúveis, desbalanço de minerais e baixo aporte pós-ruminal de aminoácidos e glicose. Ainda assim, é considerada um volumoso de média qualidade, apresentando média de NDT de 58,9%. (MAGALHÃES et al., 2004; PRESTON, 1982; PRESTON; LENG, 1978). Desta forma, é necessária adequação de nutrientes para que este alimento seja bem aproveitado pelos animais, e o nitrogênio é um dos primeiros a ser corrigido.

Neste contexto, o uso da CA como forragem na época seca vem sendo estudada e amplamente utilizada como alimento volumoso para ruminantes (SIQUEIRA et al., 2007), podendo ser utilizada in natura ou armazenada na forma de silagem (REZENDE et al., 2011).

A respeito da CA ensilada, este material apresenta baixo teor de proteína e minerais, porém com alto teor de celulose, lignina e hemicelulose, fatores que prejudicam a digestibilidade da MS e das frações fibrosas deste alimento, tornando necessário suplementos e aditivos que melhorem a utilização desta silagem pelos animais, a fim de melhorar o desempenho dos mesmos (SILVA et al., 2020).

2.2. Plantas com alta proteína como ingrediente para melhorar a silagem de cana de açúcar

A silagem é uma forma de conservar forragens e é amplamente utilizada durante a época de entressafra, quando há escassez de alimentos para os animais. É uma alternativa viável para garantir a eficiência e a produção dos animais nesse período. A conservação da forragem ocorre por meio de um processo de fermentação anaeróbica, no qual o material vegetal verde é acidificado na ausência de oxigênio (NOVAES et al., 2004). Uma estratégia promissora para aumentar o teor proteico da silagem é a utilização de plantas leguminosas ou com alta proteína, o que pode reduzir os custos de alimentação, uma vez que este nutriente representa alto custo na dieta, diminuindo assim necessidade de outras fontes proteicas para suplementação (EVANGELISTA et al., 2003).

Porém, as leguminosas forrageiras possuem baixo teor de carboidratos solúveis em água, baixo teor de MS e elevada capacidade tampão, o que faz com que não tenham características ideais para serem ensiladas (ALBRECHT; BEAUCHEMIN, 2003). Por essas características, a fermentação predominante do material ensilado

gera altos níveis de ácido butírico e nitrogênio amoniacal (N-NH₃), que atrapalham o processo de conservação. No entanto, ao serem ensiladas com outras forragens com conteúdo reduzido de proteínas, como as gramíneas, é possível obter resultados satisfatórios com acréscimo de PB no material final pela inibição da perda fermentativa (LIMA et al., 2011). Neste contexto, é importante obter um equilíbrio entre gramíneas e leguminosas com alto teor de proteína no momento da ensilagem a fim de manter o equilíbrio sem reduzir os teores de açúcares solúveis e aumentar o poder tampão, descaracterizando uma fermentação desejável realizada por microrganismos lácticos (LEMPP et al., 2000). E então, a ensilagem mista entre gramíneas e plantas com alto teor proteico são promissoras e tem potencial para desenvolver um resultado sinérgico de parâmetros digestivos e incrementar a PB da massa ensilada, contribuindo para um maior consumo de MS e ganho de peso dos animais (BARBOSA et al., 2011).

Neste contexto, há uma tendência na utilização de silagens mistas de gramíneas e leguminosas como dieta principal para animais, como por exemplo de soja, que se destaca por possuir maior teor de PB, MS, menor teor de fibra em detergente neutro (FDN), maior consumo de proteína, maior digestibilidade da MS e melhor balanço de nitrogênio (EVANGELISTA, 2003). Enquanto a CA, como gramínea, apresenta deficiência desses nutrientes (KOWALSKI et al., 2012).

Estudos tem demonstrado os benefícios da utilização de leguminosas associadas a outras culturas, como no trabalho realizado por Rigueira et al. (2017) onde os autores verificaram que o uso de estilosantes com capim-marandu melhorou a qualidade nutricional da silagem, o perfil de fermentação e reduziu ainda as perdas do processo. Outros autores destacaram ainda que a associação em vários níveis de estilosantes com *Brachiaria brizantha* no processo de ensilagem favoreceu a obtenção de um pH ideal para conservação da silagem, devido a associação da leguminosa com a gramínea (EPIFANIO et al., 2016), como também observado em estudos anteriores (HEINRITZ et al., 2012; SOUZA et al., 2014).

2.3. *Moringa oleifera*

Moringa oleifera é uma leguminosa pertencente à família *Moringaceae* e possui 14 espécies descritas, sendo a *Moringa oleifera* Lam a mais conhecida (ANWAR et al., 2007). Essa planta é popularmente conhecida como rabanete de cavalo, árvore da vida, acácia branca, quiabo-de-quina, entre outros (SIDDHURAJU; BECKER, 2003). É originária do sul da Ásia e foi introduzida em várias partes do mundo,

incluindo as Américas do Sul e Central (GONZÁLES, 2012). A MO é considerada uma planta perene arbórea e de pequeno porte (ANWAR et al., 2007), de crescimento rápido, podendo chegar a 1,50 cm por dia, atingindo de 7 a 12 m de altura, com tronco entre 10 a 30 cm (BARRETO et al., 2009; CYSNE, 2006; LORENZI; MATOS, 2002). Sua propagação pode ser feita de três formas, apresentando crescimento rápido por sementes (sexuada), mudas ou estacas (assexuada) (ALVES et al., 2005; GUALBERTO et al., 2014). Apresenta características bastante tolerantes e pode ser cultivada nos mais diversos tipos de solo (JESUS et al., 2013), porém se adapta melhor em solos arenoargilosos, como em zonas áridas, semiáridas e quentes, com temperaturas que variam entre 25 e 35°C (HDEA; LIM, 2012) podendo tolerar, por curtos períodos de tempo, temperaturas até 48°C, demandando pouco ou nenhum cuidado, por possuir capacidade de resistir a longos períodos de estiagem (GUALBERTO et al., 2014; SUTHERLAND et al., 1994), e desenvolve-se idealmente em regiões com precipitação anual entre 250 e 3000 mm, com altitude abaixo de 600 m (CROSBY, 2007). No entanto, um fator limitante ao seu bom desenvolvimento são lugares onde há possibilidade de encharcamento de solo.

A MO foi introduzida no Brasil em regiões onde há longos períodos de estiagem anual e com altas temperaturas (ROSA, 1993) e pode ser cultivada em grande escala, com rendimento médio de 8,3 toneladas de MS /ha (BONAL et al., 2014) com baixo custo de produção, considerando que é possível o aproveitamento da planta inteira, como folhas, talos, sementes, frutos e flores, os quais apresentam grande quantidade de nutrientes disponíveis (FERREIRA et al., 2008; OKUDA et al., 2001). Todas essas partes da planta também são incorporadas em vários sistemas de medicina tradicional e vários estudos antimicrobianos relataram inibição do crescimento atividade para várias partes da MO contra uma variedade de patógenos. Um estudo relatou que extratos de folhas aquosos, acetônicos e etanólicos apresentaram atividade antibacteriana comparável à da ciprofloxacina, cotrimoxazol e cloranfenicol (DOUGHARI et al., 2007). Há também relatos do seu uso na medicina humana contra avitaminose A e C, tratamento de reumatismo, propriedades cicatrizantes, promoção de crescimento, efeitos antimicrobianos, terapêuticos e antioxidantes, por exemplo (MAKKAR; BECKER, 1997; MBIKAY, 2012; MOYO et al., 2011). É uma árvore muito versátil, é utilizada também para limpeza doméstica, fertilizantes, nutriente foliar, goma, suco clarificador de mel e açúcar de cana, biogás, plantas ornamentais,

biopesticida, celulose (AWODELEA et al., 2012), purificação de água e controle de *Schistosoma cercariae* (FUGLIE et al., 1999; PASSOS et al., 2012).

Dentre os tantos benefícios e utilidades citadas da MO, a planta foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) como importante elemento para solucionar problemas de desnutrição humana e animal, graças a suas características bromatológicas e perfil de minerais contidos em toda planta. Comparado com outros alimentos a MO apresenta teores superiores de vitaminas A e C, cálcio e potássio, em relação à cenoura, laranja, leite e banana, respectivamente. Além de compostos antioxidantes e carotenoides, precursor de vitaminas (MOURA et al., 2010).

Além de todas essas vantagens nutricionais e de utilização, o cultivo desta planta em regiões secas é muito vantajoso pois a planta permanece verde e pode ser utilizada em épocas de restrição alimentar, como na seca, quando outros alimentos forrageiros não estão disponíveis para os animais (SOUZA et al., 2009). É uma excelente fonte proteica, apresentando em torno de 33,7% de PB em suas folhas (SILVA et al., 2010) e pode ser oferecida fresca, desidratada, moída, ou utilizada em processos de ensilagem ou fenação.

A MO pode ser utilizada como um suplemento de importância na dieta do gado leiteiro e de engorda, assim como em aves, peixes, camarões, suínos, cabras e ovinos pelos conteúdos nutritivos já citados. Também, suas características de rusticidade demonstram que a planta oferece grandes vantagens para a pecuária. Em pesquisas realizadas em diversas partes do mundo foi constatado importantes incrementos no rendimento, tanto para o ganho de peso como produção de leite ao aplicar MO como suplemento dietético (GONZÁLEZ, 2012).

Além disso, a planta apresenta baixas concentrações de fatores antinutricionais como taninos, por exemplo, em torno de 12 g/kg. Contudo, é essencial o conhecimento das características bromatológicas deste alimento, bem como o conhecimento das limitações de sua utilização pelos fatores antinutricionais, para que seja adequado sua inclusão na dieta dos animais (BARBOSA; GATTÁS, 2004).

Neste contexto, a produção de MO para utilização na alimentação animal tem uma gama de possibilidades e aplicações, podendo contribuir para a melhoria da nutrição animal e ao mesmo tempo contribuir para redução de custos de produção e para a sustentabilidade do sistema.

2.4. *Tithonia diversifolia*

A *Tithonia diversifolia* é uma planta herbácea da família *Asteraceae* e nativa da América central e de ampla distribuição em zonas tropicais (NASH, 1976). Tem ampla adaptação a condições ácidas e de baixa fertilidade de solo, grande capacidade de produção de biomassa, crescimento rápido e baixa demanda de manejo e insumos para o seu cultivo (RÍOS, 1997). Seu uso é antigo e muito diverso, trabalhos relatam sua utilização em alimentação de ruminantes, coelhos (RÍOS, 1993), cobaias (GÁLVEZ, 1995), porcos (SOLARTE, 1994), apicultura como cerca viva e fonte de pólen, além de utilizada como proteção de águas em áreas florestais (RÍOS, 1997), dentre outros. A partir dos anos 90 o potencial forrageiro da TD começou a ser avaliado e seu uso recomendado para ovinos, caprinos, bovinos e alguns monogástricos. A TD também é amplamente utilizada em sistemas silvo pastoris, como fonte de proteína em plantações predominantemente de gramíneas, onde os teores de nutrientes geralmente são de baixa qualidade, para melhorar as deficiências nutricionais do rebanho (CARMONA, 2007), sendo utilizadas para corte ou pastoreio direto (PENZO, 1998). Alguns autores relatam que espécies vegetais como a TD acumulam nitrogênio nas folhas assim como as leguminosas, e possuem grande teor de fósforo (WANJAU et al., 1998), porém, a qualidade nutricional depende do estado vegetativo em que se encontra, como por exemplo na prefloração ou pós-floração (PÉREZ et al., 2009).

As características da TD conferem a essa planta grande potencial para ser utilizada na produção animal tropical, principalmente pela alta produção de biomassa e rebrota rápida pós corte, além do alto teor de proteína (que pode ser em torno de 20% da MS), além de apresentar alta degradabilidade de MS (MAHECHA; ROSALES, 2005). Porém, em trabalho realizado por Vega et al. (2018) onde os autores utilizaram a TD na substituição de alfafa na dieta de ovinos alimentados com CA, os mesmos não observaram efeitos significativos sobre o desempenho produtivo, retenção de nitrogênio e digestibilidade de MS.

2.5. Ensaio de digestibilidade

A compreensão do valor nutricional de uma dieta é essencial para estudos relacionados à digestibilidade e consumo de dietas. Nesse sentido, é indispensável conhecer a composição bromatológica dos alimentos e a capacidade do animal em utilizar os nutrientes dos alimentos (FURTADO et al., 2012). A absorção de nutrientes

da dieta é fundamental para que o animal possa manter suas funções vitais, produzir substâncias essenciais e suprir suas necessidades energéticas (YAMAMOTO et al., 2005) e a quantificação da digestibilidade do que foi consumido e absorvido no trato digestivo, bem como a quantidade de nutriente eliminada nas fezes, obtém-se através de ensaios de digestibilidade. Esses testes requerem o conhecimento preciso tanto da quantidade de alimento ingerido quanto da quantidade excretada. A diferença entre esses valores representa a parte que foi supostamente digerida e absorvida pelo animal. Quando expressa como uma porcentagem, essa diferença é conhecida como coeficiente de digestibilidade aparente de cada nutriente (CHURCH; POND, 1987; MAYNARD et al., 1986; SHIMADA, 1983). Nestes ensaios os valores de digestibilidade obtidos são considerados aparentes, uma vez que não são feitas medições ou correções para as contribuições metabólicas ou endógenas, como enzimas, hormônios, metabólitos ou células descamativas, que são produzidos como parte do processo digestivo e aparecem nas fezes, mesmo sem serem resíduos alimentares. No entanto, é possível obter a digestibilidade verdadeira através de correções a fim de refletir com mais precisão a absorção dos nutrientes fornecidos pelo alimento (MAYNARD et al., 1986; SHIMADA, 1983).

Para realização de um ensaio de digestibilidade *in vivo*, um animal é alimentado com quantidades conhecidas e pré-determinadas de uma dieta de composição já analisada, e a ingestão dos diferentes nutrientes pelo animal é monitorada ao longo de um período específico, geralmente no mínimo 14 dias. Durante esse tempo é realizada coleta total de fezes, e essa coleta deve ser feita corretamente de forma a evitar a contaminação urinária e que as fezes representem quantitativamente o resíduo não digerido do alimento previamente medido. Posteriormente, tanto a dieta quanto as fezes são analisadas para determinar o teor de nutrientes presentes em ambas as amostras (CHURCH; POND, 1987; MAYNARD et al., 1986).

Antes de iniciar o estudo, o animal é alimentado com a dieta a ser testada durante um período preliminar para eliminar os resíduos dos alimentos consumidos anteriormente e permitir que o animal se adapte à dieta de teste. Após esse período, a coleta de fezes é iniciada, e as fezes coletadas são analisadas para determinar a maior perda individual dos nutrientes ingeridos, uma vez que os componentes que são perdidos nas fezes correspondem à parte não digerida do alimento devido aos processos de degradação gastrointestinal (CHURCH; POND, 1987; MAYNARD et al., 1986).

Como mencionado, o termo "digestibilidade" refere-se à porcentagem de todo o alimento ou de um componente específico que não é excretado pelo animal, assumindo que foi utilizado e absorvido no trato gastrointestinal. Normalmente, é expressa como uma porcentagem do coeficiente de digestibilidade em relação à MS (CHURCH; POND, 1987).

Nesses ensaios normalmente são utilizadas gaiolas metabólicas adaptadas para a espécie que vai ser estudada e é essencial que os animais tenham liberdade de movimento, especialmente para deitar e levantar, a fim de separar as fezes da urina (MAYNARD et al., 1986).

Vários fatores influenciam a digestibilidade dos alimentos, incluindo sua composição, preparo, tempo de trânsito pelo trato gastrointestinal e características próprias do animal, como espécie, idade e estágio produtivo. Além disso, a digestibilidade pode ser superestimada quando há um período prolongado entre a última refeição do período experimental e a coleta fecal final, resultando em um aumento tardio na produção fecal (CHURCH; POND, 1987).

Da mesma forma, existem variações na digestibilidade dos alimentos entre os animais até mesmo dentro da mesma espécie, podendo apresentar diferenças significativas na utilização dos alimentos, dependendo de fatores como raça, estágio produtivo (idade) e estado de saúde, refletindo diferentes hábitos e exigências dietéticas, devido às diferentes necessidades nutricionais de cada animal (SHIMADA, 1983). O nível de nutrição também afeta a digestibilidade dos alimentos em várias espécies animais. Quando o consumo de ração é reduzido abaixo do nível de manutenção em animais com trato gastrointestinal intacto, eles tendem a ser mais eficientes na digestão dos alimentos e no aproveitamento dos nutrientes (MAYNARD et al., 1986).

Alguns dos fatores que afetam a digestibilidade de forragens ou rações em ruminantes incluem a quantidade de alimento consumido, a quantidade de fibra e/ou lignina na ração, diferenças entre as espécies, deficiências nutricionais, fatores que afetam o apetite, frequência de alimentação, preparo dos alimentos, efeito associativo da ração e adaptação a mudanças na dieta. Esses fatores podem influenciar a digestibilidade de forma diferente em cada espécie animal (VAN SOEST, 1994; CHURCH; POND, 1987).

2.6. Emissão de metano entérico dos ruminantes

O aumento das emissões de gases oriundos de atividades humanas contribui significativamente para o aquecimento global, sendo os principais o CO₂, CH₄ e óxido nítrico (NO₂) (RICHARDS et al., 2019). Através do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito estufa o Observatório do Clima (OC, 2023) apontou um crescimento de 3,8% nas emissões de gases em 2021 em comparação com o ano anterior, sendo o setor agropecuário responsável por 25% das emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa no Brasil neste mesmo ano, totalizando 601 milhões de toneladas de CO₂. O aumento na emissão destes gases se manifesta como aumento da temperatura do planeta e alterações climáticas significativas. Embora o CH₄ seja o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, logo após CO₂, o seu tempo de permanência na atmosfera é mais curto, o que o torna um alvo importante nas pesquisas que buscam reduzir as emissões de GEE a curto prazo (RICHARDS et al., 2019).

Animais ruminantes são constantemente associados ao gás CH₄, que é um dos principais GEE por apresentar potencial 25 vezes maior do que o CO₂ para o aquecimento global. Este gás é formado como um subproduto do processo de fermentação dos alimentos no rúmen e participa de uma parcela importante no cenário mundial de GEE (GUPTA et al., 2018). Neste processo ocorre uma oxidação parcial dos carboidratos resultando na formação de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), liberando elétrons e prótons de hidrogênio (H₂). Essas partículas de H₂ são capturadas por cofatores e então reduzidas. No entanto, para que esses cofatores sejam reutilizados no processo de fermentação, eles precisam ser oxidados. Neste contexto, as *Archeas* metanogênicas desempenham um papel crucial evitando o acúmulo de H₂, utilizando-o no processo de redução do CO₂ para produção de CH₄, que será posteriormente expelido através, principalmente da eructação. Os animais ruminantes não possuem utilizam o CH₄ como fonte de energia, logo, sua produção representa um gasto energético de, aproximadamente, 6% da energia bruta consumida. Portanto, há crescente busca em estratégias focadas na redução das emissões de CH₄ tanto para contribuir com a redução das emissões de GEE quanto para melhorar o potencial de desempenho dos animais (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

Para se pensar em estratégias de redução da emissão de GEE, principalmente o CH₄, é necessário se entender o metabolismo, fisiologia e microrganismos envolvidos no processo de fermentação ruminal. A liberação de elétrons de H⁺ varia

com a dieta oferecida aos animais, através da formação de H_2 que serve de substrato para o crescimento de microrganismos metanogênicos no rúmen, favorecendo a emissão de CH_4 (NEWBOLD e MORALES, 2020). Outros fatores que influenciam a produção de CH_4 envolvem a quantidade de MS consumida, tipo de carboidrato e quantidade de lipídeos da dieta, e aditivos modificadores da fermentação ruminal. Portanto, estratégias nutricionais que visam a modulação desses fatores é fundamental para manipular a emissão desse gás (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

As estratégias nutricionais para redução de CH_4 estão direta ou indiretamente relacionadas com a otimização do processo fermentativo no nível ruminal. São mecanismos que buscam, através da manipulação dietética, favorecer o crescimento de fungos ruminais ou fornecer substâncias defaunantes, ou ainda, substâncias com propriedades anti-metanogênicas, capazes de reduzir as emissões de CH_4 entre 20 e 40% (GOMES et al., 2009). Dentre tais estratégias, o aumento da inclusão de concentrado na dieta de ruminantes é um método eficaz (JIAO et al., 2014) que envolve as diferenças entre o padrão de fermentação dos carboidratos fibrosos e não fibrosos, uma vez que aumento da fibra da dieta favorece a produção de acetato, que é uma via produtora de H_2 , o principal substrato para os microrganismos metanogênicos, enquanto a fermentação do amido aumenta a produção de propionato, que por sua vez compete com estes mesmos microrganismos pelo H_2 (JOHNSON e JOHNSON, 1995; BEAUCHEMIN et al., 2008). Além disso, altas concentrações de alimento concentrado na dieta de ruminantes proporcionam redução do pH ruminal que, por consequência, pode causar redução nos microrganismos metanogênicos e nos protozoários (HEGARTY, 1999).

A utilização de plantas leguminosas também é apontada como estratégia viável para redução de CH_4 . Essas plantas, aumentam o aporte proteico da dieta favorecendo o desempenho produtivo animal devido ao maior teor de PB e à menor proporção de parede celular, podendo contribuir com a melhora na digestibilidade da MS (MWANGI et al., 2021; MACEDO et al., 2014; BARCELLOS et al., 2008) e possuem taninos em sua composição, que são polímeros com elevado potencial anti-metanogênico (KU-VERA et al., 2020).

Portanto, estratégias nutricionais são de extrema importância no cenário de sustentabilidade visando a redução dos impactos ambientais causados pela pecuária.

Referências

- ALBRECHT, K.A.; BEAUCHEMIN, K.A. Alfalfa and other Perennial Legume Silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J. H. (eds.). **Silage Science and Technology**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 2003. p. 633-664. (Agronomy Monographs, 42).
- ALVES, M.C.S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A.M.E.; OLIVEIRA, V.C.de. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* Lam. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embedição. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005.
- ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A.H. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, v. 21, p. 17-25, 2007.
- AWODELEA, O.; OREAGBA, I. A.; ODOMA, S.; SILVA, J. A. T. da; OSUNKALU, V. O. Toxicological evaluation of the aqueous leaf extract of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 139, p. 330-336, 2012.
- BARBOSA, F. F.; GATTÁS, G. Farelo de algodão na alimentação de suínos e aves. **Revista Eletrônica Nutriente**, v. 1, n. 3, p. 147-156, 2004.
- BARBOSA, L.A.; REZENDE, A.V.; RABELO, C.H.S.; RABELO, F.H.S.; NOGUEIRA, D.A. Aerobic stability of corn and soybean silage mixed at different ratios. **ARS Veterinaria**, v. 27, n. 4, p. 255-262, 2011.
- BARCELLOS, A.O.; RAMOS, A.K.B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de 200 leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67, 2008.
- BARRETO, M.B.; FREITAS, J.V.B.de; SILVEIRA, E.R.; BEZERRA, A.M.E.; NUNES, E.P.; GRAMOSA, N.V. Constituintes químicos voláteis e não-voláteis da *Moringa oleifera* Lam., *Moringaceae*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, p. 893-897, 2009.
- BEAUCHEMIN, K.A.; Kreuzer, M.; O'MARA, F.; McALLISTER, T.A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 21-27. 2008.
- BONAL, R.R.; RIVERA, O.R.M.; BOLÍVAR, C.M.E. *Moringa oleifera*: a healthy option for the well-being. **MediSan**, v. 16, n. 10, art. 1596, 2012.
- CARMONA, A. Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. **Revista Lasallista de investigación**. Caldas, v. 4, n. 1, p. 40-50, 2007.
- CHURCH, C.D.; POND, G.W. **Fundamentos de nutrición y alimentación de animales**. 1. ed. México, DF: Limusa, 1987. 438 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2023/24**. v.11, n. 1, p. 1-55, 2023.

CROSBY, G.W. **Soilless culture of moringa (moringa oleifera lam) for the production of fresh biomass**. 2007. Tese (Doutorado em Filosofia) – Departamento de Ciências em Planta, Solo e Insetos, Universidade de Massachusetts, Amherst, 2007.

CYSNE, J R.B. **Propagação in vitro de Moringa oleifera L.** 2006. (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, 2006.

DOUGHARI, J.H.; PUKUMA, M.S.; DE, N. Antibacterial effects of *Balanites aegyptiaca* L. Drel. and *Moringa oleifera* Lam. on *Salmonella typhi*. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, p. 2212–2215, 2007.

EPIFANIO, P. S.; COSTA, K.A.P.; GUARNIERI, A.; TEIXEIRA, D.A.A.; OLIVEIRA, S. S.; SILVA, V.R. Silage quality of *Urochloa brizantha* cultivars with levels of Campo Grande *Stylosanthes*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, n. 2, p. 135-142, 2016.

EVANGELISTA, A.R.; REZENDE, P.M.; MACIEL, G.A. **Uso da soja *Glycine max* (L.) Merrill na forma de forragem**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 36 p. (Boletim de Extensão).

FERNANDES, A.M.; QUEIROZ, A.C.de; PEREIRA, J.C.; LANA, R.de P.; BARBOSA, M.H.P.; FONSECA, D.M.da; DETMANN, E.; CABRAL, L.da S.; PEREIRA, E.S.; VITTORI, A. Composição químico-bromatológica de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) com diferentes ciclos de produção (precoce e intermediário) em três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 977–985, 2003.

FERREIRA, P.M.P.; FARIAS, D.F.; OLIVEIRA, J.T.de A.; CARVALHO, A.de F.U. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. **Revista de Nutrição**, v. 21, n. 4, p. 431-437, 2008.

FUGLIE, L.J. **The Miracle Tree**: *Moringa oleifera*: Natural Nutrition for the Tropics. Dakar: Church World Service, 1999. 68 p.

FURTADO, R. N.; CARNEIRO, M.S.S.; CANDIDO, M.J.D.; GOMES, F.H.T.; PEREIRA, E.S.; POMPEU, R.C.F.F.; SOMBRA, W.A. Valor nutritivo de dietas contendo torta de mamona submetida a métodos alternativos de destoxificação para ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 64, n. 1, p. 155-162, 2012.

GÁLVEZ, A. L. Cuyes, lombrices, forrajes y manejo de micro cuencas en Matituy-Nariño. In: Seminario Internacional sobre Sistemas Pecuarios Sostenibles para las montañas tropicales, 4., 1995, Cali, Colombia. **Memorias**. Cali, Colombia: CIPAV y CENDI, 1995.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F.de S.; PICCOLO, M. de C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emission as affected by long term tillage, crop rotations and fertilization in a subtropical environment. **Soil & Tillage Research**, v.1 01, p.36-44, 2009.

GONZÁLEZ, D. *Moringa oleífera* – La garantía de un futuro mejor. **Revista ACPA-Artículos Técnicos**, n. 3, p. 40-42, 2012.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; ABREU, K. M. P.; PRETO, B.L.; FERRARI, J. L.F. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleífera Lam.*): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2014.

GUPTA, M.; MONDAL, T.; LOKESHA, E.; SINGH, A.; ASHWIN, K.; PERWEEN, S.; SAHOO, J.K. Methane Emission by Ruminants and Its Measurement- A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Science**, v. 7, n. 7, p. 3120-3126, 2018.

HEINRITZ, S.N.; MARTENS, S.D.; AVILA, P.; HOEDTKE, S. The effect of inoculant and sucrose addition on the silage quality of tropical forage legumes with varying ensilability. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, n. 3, p. 201-210. 2012.

JESUS, A.R.de; MARQUES, N.da S.; SALVI, E.J.N.R.; TUYUTY, P.L.M.; PEREIRA, S. A. **Cultivo da Moringa Oleífera**. Salvador, BA: Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA, 2013.

JIAO, H.P.; DALE, A.J.; CARSON, A.F.; MURRAY, S.; GORDON, A.W.; FERRIS, C.P. Effect of concentrate feed level on methane emission from grazing dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 7043-7053. 2014.

JOHNSON, K.A., JOHNSON, D.E. Methane emission from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 2483-2492. 1995.

KOWALSKI, L.H.; FERNANDES, S.R.; SOUZA, D.F. **Cana-de-açúcar: uma opção na alimentação de pequenos ruminantes**. Piracicaba: Milkpoint, 2012. Online: Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/canadeacucar-uma-opcao-naalimentacao-de-pequenos-ruminantes-81865n.aspx>.

KU-VERA, J.C.; JIMÉNEZ-OCAMPO, R.; VALENCIA-SALAZAR, S.S.; MONTOYAFLORES, M.D.; MOLINA-BOTERO, I.C.; ARANGO, J.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F.J. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v.7, p.584, 2020.

LEMPP, B.; MORAES, M. G.; SOUZA, L. C. F. Produção de milho em cultivo exclusivo ou consorciado com soja e qualidade de suas silagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 3, p. 243-249, 2000.

LIM, T. K. *Moringa oleífera*. In: LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. Dordrecht: Springer, 2012. v. 3, p. 453-485.

LIMA, J.A.; GAVIOLI, I.L.C.; BARBOSA, C.M.P.; CUNHA, E.A.; GIMENES, F.M.A.; BERNEDT, A. Silagem de soja no enriquecimento de dietas compostas por silagem 53 de ponta de cana-de-açúcar. I - Consumo de nutrientes. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 48., 2011, Belém. **Anais**. Belém: Sociedade Brasileira De Zootecnia, 2011.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. **Plantas medicinais no Brasil** – Nativas e exóticas cultivadas. Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2002. p. 346-347.

MACÊDO, G.A.R.; COSTA, E.L. da; VIANA, M.C.M.; FERREIRA, J.J.; PIRES, J.F.; FREIRE, F.M. Características agrônômicas e químicas das variedades de cana-de-açúcar RB83-5486 e RB86-7515 sob irrigação e sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 599–603, 2012.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G.; ARAUJO, A.R. **Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação**. In: Anais de Congresso, Ribeirão Preto, SP, Embrapa Gado de Corte, p.158-181, 2014.

MAGALHÃES, A.L.R.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES FILHO, S.C.; TORRES, R.A.; MENDES NETO, J.; ASSIS, A.J.de. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: desempenho e viabilidade econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 5, p.1292-1302, 2004.

MAHECHA, L.; ROSALES, M. Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. **Livestock Research for Rural Development**, v. 17, n. 9, art. 100, 2005.

MAYNARD, A.L.; LOOSLI, K.J.; HINTZ, F.H.; WARNER, G.R. **Nutrición animal**. 4. ed. México, DF: MacGraw Hill, 1986.

MOURA, A. S.; FARIAS, V.; SOUZA, A.L.G.; OLIVEIRA JUNIOR. A.M.; SILVA G.F. Estudo da eficiência de métodos de obtenção de concentrados protéicos a partir de moringa (*Moringa oleifera* Lamarck). In: Encontro Nacional de Moringa – ENAM, 2., 2010, Aracaju, SE. **Anais**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.

MWANGI, F.W.; GARDINER, C.P.; WALKER, G.; HALL, T.J.; MALAU-ADULI, B.S.; KINOBE, R.T.; MALAU-ADULI, A.E. Growth Performance and Plasma Metabolites of Grazing Beef Cattle Backgrounded on Buffel or Buffel-Desmanthus Mixed Pastures. **Animals**, v.11, n.8, p.2355, 2021.

NASH, D.L. **Flora de Guatemala**. Chicago, Ill.: Field Museum of Natural History, 1976. (Fieldiana Botany series, 24, part. 12).

NEWBOLD, C. J.; RAMOS-MORALES, E. Review: ruminal microbiome and microbial metabolome: effects of diet and ruminant host. **Animal**, v. 14, s. 1, p. 78-86, 2020.

NOVAES, L.P.; LOPES, F. C.F.; CARNEIRO, J. C. **Silagem: Oportunidades e pontos críticos**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Corte, 2004. (Comunicado Técnico, 43).

OC. Observatório do Clima. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. 2023. Online: Disponível em: <<https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>>

OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, v. 35, p. 405-410, 2001.

PASSOS, R.M. dos; SANTOS, D.M. da C.; SANTOS, B.S. dos; SOUZA, D.C.L.; SANTOS, J.A.B. dos; SILVA, G.F.da. Qualidade pós-colheita da moringa (*moringa oleifera* lam) utilizada na forma in natura e seca. São Cristóvão: **Revista GEINTEC**, v. 3, n. 1, p. 113-120, 2012.

PENZO, D.; IBRAHIM, M. **Sistemas silvopastoriles**. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1998. 258 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal, 2).

PÉREZ, A.; MONTEJO, I.; IGLESIAS, J. M.; LÓPEZ, O.; MARTÍN, G. J.; GARCÍA, D. E.; MILIÁN, I.; Hernández, A. *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray. **Pastos y Forrages**, v. 32, n. 1, p. 1-15, 2009.

PRESTON, T. R.; LENG, R. A. La caña de azúcar como alimento para los bovinos. **Revista Mundial de Zootecnia**, n. 27, p. 7-12, 1978.

PRESTON, T.R. Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 4, p. 877-883, 1982.

QUEIROZ, O.C.M.; NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P; RIBEIRO, J.L.; SANTOS, M.C.; ZOPOLLATTO, M. Silagem de cana-de-açúcar comparada a fontes tradicionais de volumosos suplementares no desempenho de vacas de alta produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 358-365, 2008.

REIS, M.M.; CRUZ, L.R.; COSTA, G.A.; BARROS, R.E.; SANTOS, L.D.T. Potencial forrageiro de *Tithonia diversifolia* na alimentação animal. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 7, n.1, p. 233-245, 2015. Supl. 1.

REZENDE, A.A.S.; PASCOAL, L.A.F.; VAN CLEEF, E.H.C.B.; GONÇALVES, J.S.; OLSZEWSKI, N.; BEZERRA, A.P.A. Composição química e características fermentativas de silagens de cana-de-açúcar contendo farelo de babaçu. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 232, p. 1031–1039, 2011.

REZENDE, A.V.; RODRIGUES, R.; BARCELOS, A.F.; CASALI, A.O.; VALERIANO, A.R.; MEDEIROS, L.T. Qualidade bromatológica das silagens de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) aditivadas com raspa de batata. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 292-297, 2009.

RICHARDS, M. et al. Climate change mitigation potential of agricultural practices supported by IFAD investments. **IFAD Research Series**, v. 35, p. 1-31. 2019.

RIGUEIRA, J.P.S.; PEREIRA, O.G.; RIBEIRO, K.G.; VALADARES FILHO, S. C.; CEZÁRIO, A.S.; SILVA, V.P.; AGARUSSI, M.C.N. Silage of Marandu Grass with Levels of Stylo Legume Treated or Not with Microbial Inoculant. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 9, 2017.

RÍOS, C. Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. En: árboles y arbustos forrajeros utilizados en la alimentación animal como fuente proteica. **Centro para la investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria**. Cali, Colombia. 115:126, 1997.

RÍOS, C.I. Efecto de la densidad de siembra y altura de corte sobre la producción de biomasa del botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray, evaluada en cortes sucesivos. Investigación, validación y capacitación en Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Cali, Colombia: Convenio CETEC - CIPAV – IMCA, 1993. p. 81-83.

ROSA, K. R. **Moringa oleífera**: a perfect tree for home gardens. 1. ed. Paia, Hawaii: Agroforestry Information Service, 1993.

SHIMADA, A. **Fundamentos de nutrición animal comparativa**. 1. ed. México, DF: Asociación Americana de Soya, 1983. 369 p.

SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agro-climatic origins of drumstick tree (*Moringa oleífera* Lam.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 15, p. 2144–2155, 2003.

SILVA, D.L.G.; BATISTI, D.L.D.; FERREIRA, M.J.G.; MERLINI, F.B.; CAMARGO, R.B.; BARROS, B.C.B. Cana-de-açúcar: Aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2021.

SILVA, J.C.; MARQUES, R.G.; TEIXEIRA, E.M.B.; CIABOTTI, S. Determinação da composição química das folhas de *Moringa oleífera* LAM. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2008, Uberaba. **Anais**. Uberaba: CEFET, 2008.

SILVA, V. L.; FREITAS, P.V.X.de; CAETANO, G.A.de.O.; FRANÇA, A.F.de.S. Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal. **Veterinária e Zootecnia**, v. 27, p. 1-13, 2020.

SOLARTE, A. Experiencias de investigación participativa en sistemas de Producción Animal en das zonas del Valle del Cauca. In: Seminario Internacional Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios, 3., 1994, Cali, Colombia. **Memorias**. Cali, Colombia: CIPAV, 1994. p. 49-72.

SOUZA, A.A.; MENEZES, P.B.S.; XAVIER-FILHO, L. RODRIGUES, S.A. Atividade antimicrobiana da resina e do extrato do mesocarpo dos frutos de *Moringa oleífera* Lam. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 1., 2009, Aracaju, SE. **Anais**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.

SOUZA, W. F.; PEREIRA, O. G.; RIBEIRO, K. G.; SANTOS, A. S.; VALADARES FILHO, S. C. Intake, digestibility, nitrogen efficiency, and animal performance of growing and finishing beef cattle fed warm-season legume (*Stylosanthes capitata* plus *Stylosanthes macrocephala*) silage replacing corn silage. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 9, p. 4099-4107, 2014.

SUTHERLAND, J.P.; FOLKARD, G.K.; MTAWALI, M. A.; GRANT, W.D. Moringa oleifera as a natural coagulant. In: WEDC Conference, 20., 1994, Colombo, Sri Lanka. **Affordable Water Supply & Sanitation; proceedings**. Loughborough, UK: Water, Engineering and Development Centre - WEDC, Loughborough University of Technology, 1994. p. 297-299.

UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Moagem De Cana-De-Açúcar E Produção De Açúcar E Etanol - Safra 2020/2021**. Observatório da Cana - POR SAFRA. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/historico-de-producao-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=2493&safra=2020%2F2021&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA>.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994.

VEGA, G.E.; SANGINÉS G.L.; GÓMEZ, G.A.; HERNÁNDEZ B. J.A.; SOLANO, L.; ESCALERA V.A.; LOYA-OLGUIN J.L. Reemplazo de alfalfa con *Tithonia diversifolia* en dietas de corderos alimentados con dietas a base de ensilado de caña de azúcar suplementadas con pulidura de arroz. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias**, v. 10, n. 2, p. 267-282, 2019.

VOLTOLINI, T.V.; SILVA, J.G. da.; SILVA, W.E. de L.; NASCIMENTO, J.M.L. do; QUEIROZ, M.A.A.; OLIVEIRA, A.R. de. Valor nutritivo de cultivares de cana-de-açúcar sob irrigação. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 894–901, 2012.

WANJAU, S.; MUKALAMA, J.; THIJSSSEN, R. Transferencia de biomasa: Cosecha gratis de fertilizante. **Boletín de ILEIA**, v. 13, n. 3, p. 25, 1998.

YAMAMOTO, S.M.; MACEDO, F.A.F.; ZUNDT, M.; MEXIA, A.A.; SAKAGUTI, E.S.; ROCHA, G.B.L.; REGAÇONI, K.C.T.; MACEDO, R.M.G. Fontes de óleo vegetal na dieta de cordeiros em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 703-710, 2005.

3 Avaliação *in vitro* de silagem de cana-de-açúcar com inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia*

Resumo: A utilização de alimentos não convencionais visa incorporar alternativas alimentares a fim de contribuir para sustentabilidade dos sistemas de criação. O objetivo deste trabalho foi avaliar como a inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* na silagem de cana-de-açúcar influi na qualidade nutricional da silagem e na fermentação ruminal em ensaio *in vitro* de produção de gases. Os tratamentos foram formulados de acordo com a inclusão de MO e TD na silagem de CA, com base na matéria seca, como segue: TC: 100% CA; T1= 75% CA + 25% MO; T2= 50% CA + 50% MO; T3= 25% CA + 75% MO; T4= 75% CA + 25% TD T5= 50% CA + 50% TD; T6= 25% CA + 75% TD. Para confecção das silagens dos tratamentos, as forrageiras foram coletadas e submetidas à pré-secagem durante, aproximadamente, 24 horas, então picadas, misturadas de acordo com cada tratamento proposto e acondicionadas em mini silos (\pm 2kg cada) com níveis crescentes de MO e TD. Os silos foram abertos após 30 dias e amostras foram coletadas para análise da composição química e ensaio de produção de gases *in vitro*. As silagens com adição de MO e TD apresentaram maiores níveis de PB e FDN em relação à SCA. Silagens com adição de TD reduziram a produção total de gases. Adição das plantas *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia* à SCA demonstrou potencial para aumentar a qualidade nutricional do alimento para sistemas de produção de ruminantes.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*, *Tithonia diversifolia*, degradabilidade, fermentação, sustentabilidade.

3.1. Introdução

A ovinocultura se faz presente em praticamente todo o mundo pela rusticidade da espécie e alto poder de adaptação às mais distintas vegetações, climas e relevos (BARBA et al., 2016; VIDALGONZÁLES et al., 2016), sendo a produção de carne, seu principal objetivo (SANTOS et al., 2021). No contexto atual, a adoção de medidas que minimizem os custos e maximizem a produção dos sistemas de criação são necessárias, visto que, a maior parcela de custos desta cadeia produtiva e um dos principais fatores que influencia na sua sustentabilidade, é a alimentação animal (DECKER; FERNANDES; GOMES, 2016; OLIVEIRA et al., 2017). Em função do crescimento da demanda na produção de alimentos em quase 50% até o ano de 2050 (FAO, 2018), torna-se essencial o aumento na produção e na eficiência da cadeia produtiva ovina (MONTOSI et al., 2013). No Brasil, grande parte da produção de ruminantes é feita em sistema de pastagem com gramíneas tropicais, com alta produção de MS de forragem no período chuvoso do ano (FERNANDES, 2017; PANDOLFI FILHO et al., 2016). No entanto, no período seco, quando há qualidade nutricional reduzida e baixa produção de MS das pastagens, torna-se necessária suplementação alimentar para suprir as exigências nutricionais do rebanho (PARENTE et al., 2017; MEDEIROS et al., 2015). Além disso, como alternativa para reduzir a deficiência alimentar na seca, a utilização de forragens conservadas, como a silagem, possibilita a manutenção da regularidade dos sistemas de produção (VOLTOLINI et al., 2019).

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura agrícola importante no Brasil. Seu uso na alimentação de ruminantes destaca-se devido ao baixo risco de utilização, manutenção do valor nutritivo, disponibilidade nos períodos de seca e baixo custo por unidade de MS produzida (NUSSIO; SCHMIDT; PEDROSO, 2003). Porém, apresenta qualidade nutricional baixa, com teores proteicos que variam entre 1,9 a 3,8% (ROTH; LADAGE; PRAVOSUDOV, 2010). Desta maneira, há interesse na associação da CA com outros alimentos que possam complementar a deficiência nutricional desta cultura e atender a demanda dos rebanhos à baixo custo de produção.

Diante disso, a *Moringa oleifera* merece destaque. É uma leguminosa arbórea, perene e tropical pertencente à família *Moringaceae* (PANDEY et al., 2011), resistente à longos períodos de estiagem (GUALBERTO et al., 2015) e apresenta alto teor de proteína em suas folhas, cerca de 34% (GALLÃO; DAMASCENO; BRITO, 2008).

Outra planta de interesse é a *Tithonia diversifolia*, pertencente à família Asteraceae, é uma espécie forrageira arbustiva e perene, e possui em torno de 23% de PB em suas folhas (CALSAVARA et al., 2016). Também pode ser cultivada em regiões áridas e semiáridas, além de apresentar bom crescimento em regiões de baixa precipitação pluviométrica (REIS et al., 2016; RUÍZ et al., 2014; PÉREZ et al., 2009).

A MO e a TD são consideradas alimentos não convencionais e sua utilização na dieta animal visa incorporar alternativas alimentares a fim de contribuir para sustentabilidade dos sistemas de criação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar como a inclusão destas duas plantas, MO e TD na SCA influi na qualidade nutricional da silagem e na fermentação ruminal, em ensaio *in vitro* de produção de gases. A hipótese deste estudo é que o aumento do teor proteico das silagens com adição de MO e TD reduz a produção total de gases e de CH₄ por alteração no perfil de fermentação do substrato.

3.2. Material e métodos

As atividades envolvendo o uso de animais foram submetidas para apreciação e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais CEUA/CENA-USP (protocolo nº 011/2016).

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Nutrição Animal no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (LANA/CENA/USP), na cidade de Piracicaba, São Paulo, Brasil (22°23'31''S e 47°38'57''O, 547 metros de altitude).

3.2.1. Produção de silagem

O experimento teve início com a produção de silagens de acordo com as proporções de CA, MO e TD na composição dos tratamentos, com base na MS. Tratamento controle (TC): 100% CA; T1= 75% CA + 25% MO; T2= 50% CA + 50% MO; T3= 25% CA + 75% MO; T4= 75% CA + 25% TD T5= 50% CA + 50% TD; T6= 25% CA + 75% TD. Todas as silagens foram acrescidas de 1% de cal micro processada. As plantas foram cultivadas no Instituto de Zootecnia (IZ/APTA/SAA), na cidade de Nova Odessa, São Paulo, Brasil.

As plantas foram coletadas de acordo com a disponibilidade de biomassa das mesmas para confecção das silagens em diferentes períodos, considerando a altura de corte (acima de 1,5 m para TD e 2 m para MO). Desta maneira, não houve

padronização de idade de corte entre as coletas e produções que foram realizadas para utilização dos alimentos neste experimento. A produção das silagens aconteceu em dois períodos diferentes: 1) produção de TC, T1, T2 e T3; 2) produção de TC, T4, T5 e T6. Toda biomassa utilizada na confecção das silagens de cada período foi coletada no mesmo dia, e submetida a pré-secagem sob cobertura em galpão e em temperatura ambiente por, aproximadamente, 16 horas; após a pré-secagem a biomassa foi picada em partículas de, aproximadamente, 1 a 2 cm e compactada em mini silos (tubos de PVC com, aproximadamente, 9,8 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento, com tampas dois lados, e capacidade aproximada de 2 kg de material. O teor de MS de cada planta foi determinado com o método rápido com uso de forno micro-ondas (OLIVEIRA et al., 2015) para o cálculo das proporções de cada forragem. No período 1 foram confeccionadas três repetições para cada tratamento, totalizando 12 silos, enquanto no período 2 foram confeccionados 2 silos para cada tratamento, totalizando 8 silos, que foram armazenados em local fechado a temperatura ambiente.

Em ambos os períodos, após 30 dias de ensilagem, os silos foram abertos e o pH mensurado; 5 cm do topo de cada tubo foi descartado e uma amostra de, aproximadamente 10% do conteúdo central foi homogeneizado e coletado para análise bromatológica e a avaliação *in vitro* pela técnica de produção de gases. As amostras foram secas a 55°C em estufa de ventilação forçada até estabilização do peso e então moídas em moinho tipo Willey em peneira de malha de 1 mm. No material seco foram determinados os teores de: MS (MS; ID n. 934.01), PB (PB; ID n. 2001.11), e cinzas (matéria mineral – MM) (MM; ID no. 942.05), de acordo com AOAC (2011) (AOAC, 2011), enquanto FDN foi determinado com o auxílio de um analisador de fibra (Tecnal TE- 149, Piracicaba, Brasil) e filtros Ankom (Ankom F- 57, Macedon, NY, USA) de acordo com Van Soest, Robertson e Lewis (1991) adaptado por Mertens (2002).

3.2.2. Ensaio de Produção de Gases *in vitro*

O ensaio de produção de gases *in vitro* aconteceu em duas etapas, ensaios 1 e 2, seguindo a sequência da produção de silagem. Para ambos, três inóculos foram preparados com conteúdo ruminal de seis ovinos Santa Inês adultos canulados no rúmen (cada inóculo feito de fluido ruminal de dois animais diferentes) (média de 66 ± 5,3 kg de peso corporal) coletados antes da alimentação matinal. Os animais foram alimentados com feno de gramínea tropical (Tifton 85 - *Cynodon* spp), mistura

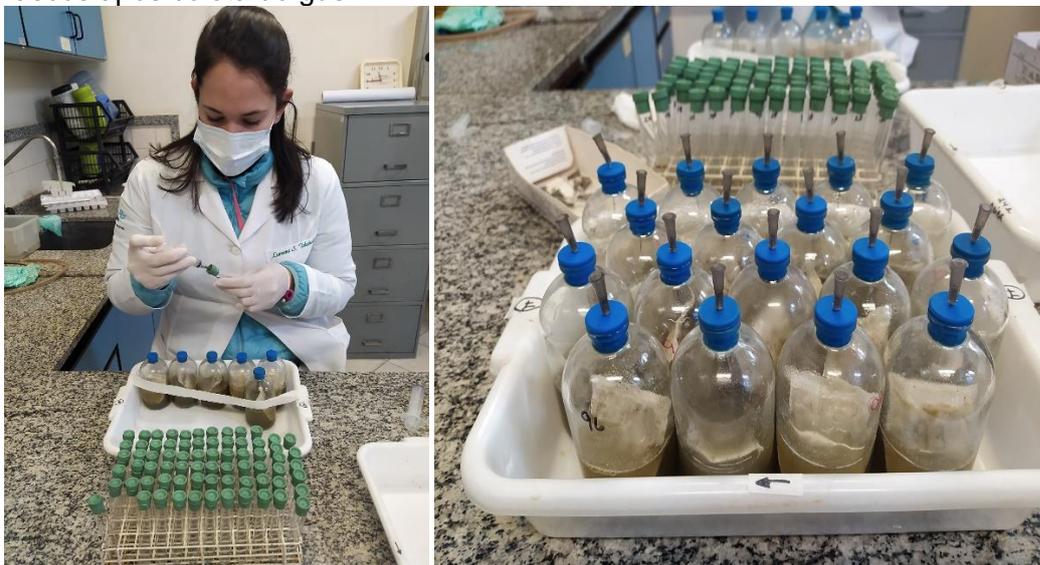
concentrada (70% de milho moído e 30% de farelo de soja), água e sal mineral. As frações líquidas e sólidas do conteúdo ruminal dos animais foram coletadas conforme descrito em Ligoski et al. (2020) e utilizadas para a preparação dos inóculos utilizados nestes ensaios, que foram preparados conforme descrito por Bueno et al. (2005) e a incubação foi realizada de acordo com as metodologias descritas por Theodorou et al. (1994) e Mauricio et al. (1999), com as adaptações de Bueno et al. (2005) e Longo et al. (2006).

Três amostras de 1 g de cada substrato de silagem foram pesadas balança de precisão dentro de filtros Ankom (Ankom F-57, Macedon, NY, EUA), transferidas para os frascos de vidro de 160 mL juntamente com 50 mL de meio de incubação (meio padrão de Menke) e 25 mL de inóculo, permitindo 85 mL de espaço livre em cada frasco (ABDALLA et al., 2012; LONGO et al., 2006). Uma amostra de cada silo foi incubada com cada um dos 3 inóculos, totalizando 36 frascos no ensaio 1 (12 amostras x 3 inóculos = 36 frascos) e 24 frascos no ensaio 2 (8 amostras x 3 inóculos = 24 frascos). Frascos em branco, sem substrato, para calcular a produção líquida de gás e amostras padrão laboratoriais também foram incluídos nos ensaios. Em seguida, os frascos foram lacrados, agitados e incubados em estufa de ventilação forçada (Marconi MA35, Piracicaba, SP, Brasil) a 39°C por 48 horas. A pressão dentro de cada garrafa foi medida em 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 36 e 48 horas após o início da incubação utilizando-se um transdutor de pressão (Pressure Press Data 800, LANA, CENA, Piracicaba, Brasil) para calcular a produção total de gás com base na equação: Ensaio 1) $V = (5,96 * p) - 0,89$; Ensaio 2) $V = (6,14 * p) - 0,04$, onde: V = volume de gás (mL); p = pressão medida (psi).

Durante cada procedimento de medição de pressão em 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas, 5 mL de amostra de gás foram coletados, enquanto em 24, 36 e 48 horas, 10 mL de amostra de gás foram coletados de cada garrafa em tubos à vácuo com capacidade de 10 mL utilizando seringas de 10 mL (Becton-Dickson Indústria Cirúrgica Ltda, Curitiba, Brasil) para determinação da concentração de CH₄ utilizando cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC-2010, Tóquio, Japão) equipado com detector de ionização de chama (FID) e um capilar coluna HP-Molesieve (GC 30 mx 0,53 mm x 25 µm), empregando as condições cromatográficas descritas por Lima et al. (2018). Após 48 horas de incubação e o último procedimento de medição de pressão e amostragem de gás, o conteúdo de cada frasco foi utilizado para aferição de pH, por meio de pHmetro (modelo TEC-2, Tecnal, Piracicaba, Brasil) e determinação da concentração

de N-NH₃ pelo método micro-Kjeldahl com solução de tetraborato de sódio (5%), de acordo com Preston (1995).

Figura 8. Ensaio de produção de gases *in vitro*: coleta de gás (esquerda) e esvaziamento dos frascos após coleta do gás.



Fonte: Arquivo pessoal.

Ao final do período de incubação, os filtros foram retirados dos frascos e colocados em água fria (4°C) para interromper o processo de fermentação microbiana. Os filtros Ankom foram tratados com solução de detergente neutro por 1 hora a 39°C, lavados 4 vezes com água destilada a 90°C por 5 minutos e finalizados com imersão em acetona por mais 5 minutos, em seguida secos em estufa de ventilação forçada por 16 horas a 105°C e posteriormente levados à mufla a 550°C por 5,5 horas para determinação da matéria orgânica verdadeiramente degradada (MOVD), que foi calculada como a diferença entre a matéria orgânica (MOr) incubada e a MOr não degradada remanescente. O fator de partição (FP) foi utilizado para estimar a eficiência microbiana através da relação entre MOr verdadeiramente degradada e produção total de gases (mL), de acordo com Blummel, Makkar e Becker (1997).

3.2.3. Modelagem da cinética de produção de gases *in vitro*

Para estimativa dos parâmetros de cinética de fermentação ruminal de cada tratamento foi utilizado o modelo logístico-exponencial ajustado às curvas de produção cumulativa de gases, de acordo com Wang, Tang e Tan (2011), utilizando as seguintes equações:

$$V = VF * (1 - \exp(-kt)) / (1 + \exp(\ln(1/d) - kt))$$

$$t_{0.5} (h) = \ln(2 + 1/d) / k$$

$$\mu_{0.5} (/h) = (k(d + 0,5)) / (1 + d)$$

Onde: V= volume acumulado no tempo, VF= volume final assintótico de gás, k= taxa fracionária de produção de gás, d= formato da curva ('0 < d < 1' indica curva sigmoideal, enquanto 'd > 1' indica curva não-sigmoideal), t= tempo de incubação (horas), t_{0,5}= meia-vida (horas); μ_{0,5}= taxa fracionária de produção de gás na meia-vida.

3.2.4. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado neste estudo foi em blocos casualizados. Ensaio 1 com 4 tratamentos e 3 repetições e Ensaio 2 com 4 tratamentos e 2 repetições (considerando os silos como repetições), considerando inóculo como bloco. A análise estatística foi realizada no software Rstudio (4.3.0) (<https://www.r-project.org/>).

Os dados de cada variável foram testados para normalidade e homoscedasticidade pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, usando as funções "stats::shapiro.test" e "stats::bartlett.test", respectivamente. Os valores que não apresentaram distribuição normal foram submetidos a transformação exponencial. Foi realizada detecção de outliers usando 3 desvios-padrões da média.

Os dados de produção de gases *in vitro* e bromatológicos foram corrigidos para efeito de inóculo usando um modelo linear da função "stats::lm" e foram submetidos a análise de variância (ANOVA) usando a função "stats::anova".

Para cálculo das médias foi utilizada a função "emmeans::emmeans", seguida por comparação de contrastes utilizando a função "multcomp::glht" pelo teste de Dunnet a p<0,05. Cada tratamento foi comparado versus TC.

3.3. Resultados

À inspeção, todos os tratamentos apresentaram coloração e odor característicos do processo de fermentação adequado, bem como o pH que variou entre 3,6 e 4,6, demonstrando um bom indicativo de conservação das silagens (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Qualidade e composição química (g/kg MS) de silagem de cana-de-açúcar (SCA) com a adição de *Moringa oleifera* (MO).

Tratamentos	pH	MS ¹	MM	MOr	FDNom	PB
TC: 100% CA	3,87	416	75,6	924	570	27,8
T1: 75% CA + 25% MO	3,63	416	78,8	921	602	56,0
T2: 50% CA + 50% MO	3,60	386	81,8	918	623	76,1
T3: 25% CA + 75% MO	3,63	355	84,4	916	637	89,5
EP	0,029	3,8	1,5	1,5	12,0	3,0
ANOVA: Valor de P	*	*	0,01	0,01	0,02	*
Contrastes: valor de P						
CA vs MO (25, 50, 75%)	0,00	0,09	0,02	0,02	0,01	*
CA vs MO 25% (T1)	*	1,00	0,34	0,34	0,20	*
CA vs MO 50% (T2)	*	*	0,04	0,04	0,03	*
CA vs MO 75% (T3)	*	*	*	*	0,01	*

CA: cana-de-açúcar; MO: *Moringa oleifera*; ¹: em g/kg; *: p<0,01; MS: matéria seca; MM: matéria mineral; MOr: matéria orgânica; FDNmo: fibra em detergente neutro com base na matéria orgânica; PB: proteína bruta.

Tabela 2. Qualidade e composição química (g/kg MS) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de *Tithonia diversifolia*.

Tratamento	pH	MS ¹	MM	MOr	FDNom	PB
TC: 100% CA	4,20	318	43,6	996	623	51,4
T1: 75% CA + 25% TD	4,25	324	74	927	731	87,5
T2: 50% CA + 50% TD	4,65	287	101	899	780	127
T3: 25% CA + 75% TD	4,40	267	105	895	742	141
EP	0,094	5,5	4,0	4,0	17,4	3,7
ANOVA: Valor de P	0,09	0,01	*	*	0,01	*
Contrastes: valor de P						
CA vs TD (25, 50, 75%)	0,20	0,25	0,01	0,01	0,00	0,01
CA vs TD 25% (T4)	0,96	0,80	0,01	0,01	0,03	0,01
CA vs TD 50% (T5)	0,06	0,04	*	*	0,01	*
CA vs TD 75% (T6)	0,40	0,01	*	*	0,02	*

CA: cana-de-açúcar; TD: *Tithonia diversifolia*; ¹: em g/kg; *: p<0,01; MS: matéria seca; MM: matéria mineral; MOr: matéria orgânica; FDNmo: fibra em detergente neutro com base na matéria orgânica; PB: proteína bruta.

Houve efeito da inclusão de MO (CA versus MO) para pH, MM, MOr, FDN e PB (Tabela 1) e efeito da inclusão de TD (CA versus TD) para MM, MOr, FDN e PB (Tabela 2) (p<0,05). A inclusão das duas plantas na (CA) foi diretamente relacionada à redução no teor de MS que, no ensaio 1 foi de 416 g/kg MS no TC à 355 em T3 (p<0,01) e, no ensaio 2, de 318 g/kg MS no TC à 267 em T6 (p=0,01), bem como com o aumento no teor de PB, que apresentou aumento significativo conforme as proporções de adição das plantas, variando de 27,8 (TC) à 89,5 (T3) no ensaio 1

($p < 0,01$) e de 51,4 (TC) à 141 g/kg MS (T6), no ensaio 2 ($p < 0,01$) (Tabela 1 e Tabela 2). Apenas pH e PB foram influenciados pela adição de 25% de MO (T1) ($p < 0,01$), enquanto nos tratamentos com 50% e 75% (T2 e T3) todos os parâmetros avaliados foram significativos ($p < 0,05$) (Tabela 1). Não houve efeito da adição de 25% de TD na (CA) para pH e MS ($p > 0,05$), enquanto a adição nos níveis 50 e 75% de inclusão de TD (T5 e T6) influenciaram MS, MM, MOr, FDN e PB ($p \leq 0,04$) (Tabela 2).

No ensaio 1 de produção de gases a adição de 75% de MO (T3) reduziu a produção total de gases (NetGP) ($p < 0,01$), enquanto a produção total de CH_4 não foi influenciada ($p = 0,08$). Houve redução na degradabilidade da matéria (DMS) seca com a inclusão de MO ($p = 0,01$), sendo 502 g/kg MS no TC e 466 e 456 para T2 e T3, respectivamente, assim como redução na degradabilidade da matéria orgânica (DMO) no tratamento T3 ($p = 0,01$). O fator de partição foi influenciado apenas pelo tratamento T1 ($p = 0,03$), onde houve uma redução de 4,0 (TC) para 3,6, enquanto o a inclusão de MO, em todos os níveis, influenciou no aumento dos valores de pH ($p < 0,01$) (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros de produção de gases e degradabilidade de silagem de cana com a adição de *Moringa oleifera* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48 h).

Tratamento	NetGP ¹	Net CH ₄ ¹	DMS ²	DMO ²	FP	pH
TC: 100% CA	56,6	9,8	502	509	4,0	6,55
T1: 75% CA + 25% MO	59,8	10,8	487	504	3,6	6,69
T2: 50% CA + 50% MO	49,8	7,2	466	474	3,9	6,66
T3: 25% CA + 75% MO	41,3	6,9	456	459	4,4	6,74
EP	2,3	0,9	10,0	10,8	0,11	0,02
ANOVA: Valor de P	0,01	*	0,01	0,01	*	0,02
Contrastes: valor de P						
CA vs MO (25, 50, 75%)	0,22	0,23	0,01	0,04	0,68	*
CA vs MO 25% (T1)	0,24	0,72	0,60	0,98	0,03	*
CA vs MO 50% (T2)	0,37	0,12	0,04	0,08	0,61	*
CA vs MO 75% (T3)	*	0,08	0,01	0,01	0,07	*

CA: cana-de-açúcar; MO: *Moringa oleifera*; ¹: ml/gMOVD; ²: g/kg; *: $P < 0,01$; NetGP: produção de gás acumulada em 48h; NetCH₄: produção de metano acumulada em 48h; DMS: digestibilidade da matéria seca; DMO: digestibilidade da matéria orgânica; FP: fator de partição.

A inclusão de TD, em todos os níveis, reduziu significativamente os valores encontrados para os parâmetros de NetGP, DMS, DMO ($p < 0,05$), na medida que elevou os valores de pH ($p < 0,01$). A produção total de gás variou de 67,5 (ml/MO verdadeiramente degradada) até 36,6 para TC e T5, respectivamente

($p < 0,01$), enquanto a produção de CH_4 também foi reduzida ($p = 0,04$), e o FP aumentado, de 3,7 para 4,2 ($p < 0,01$), para os mesmos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros de produção de gases e degradabilidade de silagem de cana com a adição de *Tithonia diversifolia* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48 h).

Tratamento	NetGP ¹	Net CH ₄ ¹	DMS ²	DMO ²	FP	pH
TC: 100% CA	67,5	14,9	549	534	3,7	6,46
T1: 75% CA + 25% TD	53,3	12,9	505	478	3,6	6,65
T2: 50% CA + 50% TD	36,6	10,0	464	429	4,2	6,85
T3: 25% CA + 75% TD	47,8	13,0	488	452	3,4	6,70
EP	2,83	1,10	10,6	11,3	0,11	0,03
ANOVA: Valor de P	*	0,04	*	0,03	*	*
Contrastes: valor de P						
CA vs TD (25, 50, 75%)	*	0,05	*	*	0,90	*
CA vs TD 25% (T4)	0,01	0,46	0,02	0,01	0,79	*
CA vs TD 50% (T5)	*	0,02	*	*	0,02	*
CA vs TD 75% (T6)	*	0,52	0,00	*	0,22	*

CA: cana-de-açúcar; TD: *Tithonia diversifolia*; ¹: ml/gMOVD; ²: g/kg; *: $P < 0,01$; NetGP: produção de gás acumulada em 48h; NetCH₄: produção de metano acumulada em 48h; DMS: digestibilidade da matéria seca; DMO: digestibilidade da matéria orgânica; FP: fator de partição.

O potencial de produção de gases (assíntota ou potencial máximo de produção) foi reduzido com 75% de adição de MO (T3) de 158,8 (ml/h) (TC) para 140 ($p < 0,01$) (Tabela 5) e em todos os níveis de adição de TD ($p \leq 0,01$), variando de 181,3 (TC) até 135,5 (T5) enquanto $T_{1/2}$ e $\mu_{1/2}$ não foram influenciados ($P > 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 5 - Potencial (ml/g MS) e taxa de fermentação ruminal (ml/h) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de *Moringa oleifera* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48h).

Tratamentos	Potencial	Taxa	$T_{1/2}$	$\mu_{1/2}$
TC: 100% CA	158,8	0,081	11,5	0,067
T1: 75% CA + 25% MO	167,2	0,075	11,3	0,066
T2: 50% CA + 50% MO	154,9	0,068	11,0	0,065
T3: 25% CA + 75% MO	140,0	0,066	10,8	0,065
EP	2,907	0,003	0,270	0,002
Contrastes: valor de P	0,00	0,01	0,28	0,80
CA vs MO (25, 50, 75%)	0,36	0,01	0,13	0,36
CA vs MO 25% (T1)	0,12	0,49	0,88	0,94
CA vs MO 50% (T2)	0,67	0,03	0,40	0,71
CA vs MO 75% (T3)	*	0,01	0,18	0,73

CA: cana-de-açúcar; MO: *Moringa oleifera*; *: $P < 0,001$; $t_{1/2}$ = meia-vida (horas); $\mu_{1/2}$ = taxa fracionária de produção de gás na meia-vida

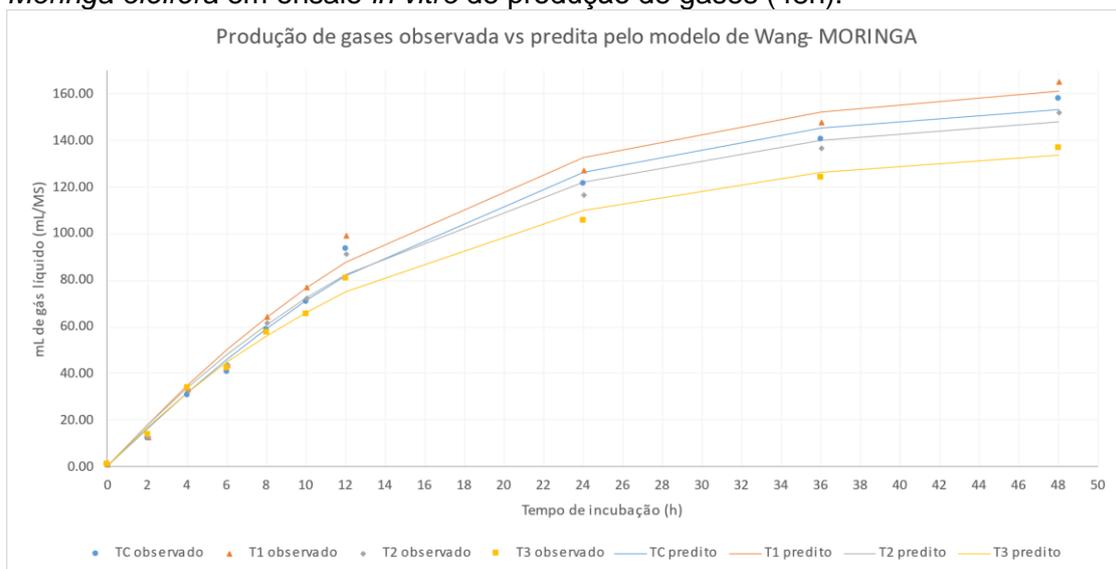
Tabela 6 - Potencial (ml/g MS) e taxa de fermentação ruminal (ml/h) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de *Tithonia diversifolia* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48 h).

Tratamentos	Potencial	Taxa	T ^{1/2}	μ ^{1/2}
TC: 100% CA	181,3	0,046	15,5	0,046
T4: 75% CA + 25% TD	160,3	0,049	14,4	0,049
T5: 50% CA + 50% TD	135,5	0,045	15,9	0,045
T6: 25% CA + 75% TD	155,4	0,049	14,3	0,049
EP	4,080	0,002	0,752	0,00
Contrastes: valor de P	0,00	0,59	0,36	0,59
CA vs TD (25, 50, 75%)	*	0,50	0,46	0,504
CA vs TD 25% (T4)	0,01	0,67	0,57	0,67
CA vs TD 50% (T5)	*	1,00	0,97	1,00
CA vs TD 75% (T6)	*	0,73	0,55	0,73

CA: cana-de-açúcar; TD: *Tithonia diversifolia*; *: P<0,001; t^{1/2}= meia-vida (horas); μ^{1/2}= taxa fracionária de produção de gás na meia-vida

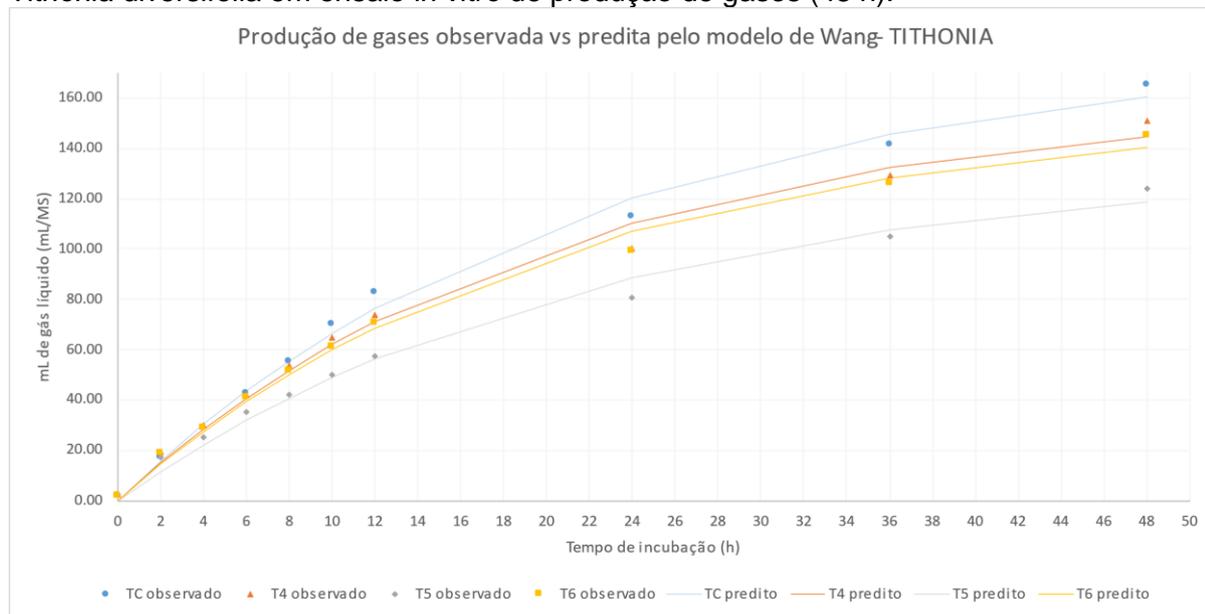
Os gráficos 1 e 2 representam os perfis de fermentação das silagens observados versus os preditos pelo modelo logístico-exponencial de Wang, Tang e Tan (2011) no decorrer do tempo de incubação de 48 horas das silagens de CA com adição de MO e TD. As regressões lineares entre os volumes de gás observados e do modelo aplicado, de ambos os ensaios, apresentam R² de 0,99, demonstrando alta compatibilidade entre os dados.

Figura 9 - Volume de gás observado versus volume de gás predito pelo modelo logístico-exponencial (Wang, Tang e Tan, 2011) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de *Moringa oleifera* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48h).



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Volume de gás observado versus volume de gás predito pelo modelo logístico-exponencial (Wang, Tang e Tan, 2011) de silagem de cana-de-açúcar com a adição de *Tithonia diversifolia* em ensaio *in vitro* de produção de gases (48 h).



Fonte: Próprio autor.

3.4. Discussão

3.4.1. Qualidade e composição nutricional

As características físicas e organolépticas dos tratamentos são o primeiro passo para avaliação da qualidade do produto após a abertura dos silos. Em ambos ensaios os dois controles (TC) apresentaram-se adequados em odor e coloração, bem como com valores de pH entre 3,9 e 4,2, indicando bom processo de fermentação e conservação. Em estudos comparativos de (CA) (100%) com outros aditivos, Caregnato et al. (2019) observaram valor de pH de 3,24, enquanto Moraes et al. (2017) encontraram 3,28. A variação entre os pH encontrados neste estudo em comparação com o de outros autores, inclusive entre os dois ensaios, pode estar relacionada aos diferentes estágios de maturação das plantas utilizadas nos momentos de colheita ou ainda em relação ao tempo de armazenamento.

Os tratamentos com adição de MO, T1, T2 e T3, apresentaram valores de pH ideais para um bom processo de fermentação (Tabela 1), apesar de leguminosas serem conhecidas por suas características de fermentação desfavoráveis à ensilagem, devido ao alto teor de proteína (ARCANJO et al., 2016). Enquanto os tratamentos com adição de TD, T4, T5 e T6, apresentaram os valores de pH discretamente maior do que o considerado ideal (Tabela 2), acima de 4,2. Porém, considerando o alto teor de umidade e proteína nessa planta, a qualidade da

silagem foi satisfatória e apresentou boa conservação. Apesar da TD não ser uma leguminosa, a planta apresenta alto teor de PB em sua composição, Calsavara et al. (2016) descreveram 22,5% de PB nas folhas. Essa característica favorece a fermentação por clostrídios, responsáveis pela formação de aminas, amônia e ácido butírico em concentração maior do que ácido láctico, resultando em um processo de fermentação não ideal com menor redução do pH (ROOKE; HATFIELD, 2003). Além disso, o baixo teor de MS dessa planta que, em conjunto com o alto poder tampão e baixa quantidade de carboidratos solúveis, são responsáveis pela baixa capacidade fermentativa da silagem desta cultura (DRIEHUIS et al., 2018), que é possível observar, principalmente, nos tratamentos T5 e T6, que apresentaram teor de MS inferior ao recomendado para uma silagem considerada de boa qualidade (Tabela 2), entre 30 e 35% (MCDONALD; HENDERSON; HERON, 1991).

A MO, por se tratar de uma leguminosa arbórea, apresenta maior conteúdo lenhoso na planta inteira em relação à CA. Bakke et al. (2010) citaram conteúdo de FDN de 68,8 e 41,2%, fibra em detergente neutro (FDA) de 58,7 e 49,9% e MM 4,1 e 5,5% em caule e folhas de plantas com 6 meses na idade de corte, respectivamente. A mesma coisa acontece com a TD, por se tratar de uma espécie herbácea-arbustiva (NZIGUHEBA et al., 2002) que possui quantidade elevada de caules. Calsavara et al. (2016) encontraram valores de FDN de 52 e 48%, FDA 36,4 e 30,7% e MM 9,3 e 12,4% em caule e folhas, respectivamente, em plantas em preflorescência. Em contraste, a cana-de-açúcar apresenta valores médios de FDN, FDA e MM inferiores. Cruz et al. (2014) descreveram valores médios de FDN de 39,44%, FDA de 22,5 e MM 2,8 entre 8 variedades dessa CA. Os maiores valores de MM, MO e FDN encontrados nos tratamentos T2, T3 com adição de MO e de todos os tratamentos com adição de TD, podem ser justificados pela composição bromatológica da matéria original, como demonstrado acima, assim sendo, o aumento nas proporções de MO ou TD foi diretamente relacionado ao aumento dos teores citados.

Resende et al. (1994) citam que o maior consumo de MS está relacionado a dietas com menores teores de FDN, considerando o menor efeito de preenchimento ruminal pelo material não fibroso, conseqüentemente com maior taxa de passagem, o que estimula o consumo de MS. Em comparação com o TC, com exceção do T1, os demais tratamentos apresentaram quantidades maiores entre 53 a 157 g/kg MS de FDN, que poderia comprometer o consumo de MS.

Bem como o aumento do consumo de FDN, teores de FDA acima de 44% nas silagens podem implicar em diminuição do consumo de MS, uma vez que representa a parte mais indigestível das fibras dos alimentos por possuir lignina em sua constituição (CANDIDO et al., 2007). Resultados inversos, foram observados por Azevedo et al. (2020) e Mendieta-Araica et al. (2009), ao avaliarem silagens de capim-elefante com adição de MO. Em ambos os trabalhos foram observadas reduções nos teores de FDN conforme incremento de MO, sob a justificativa que a MO apresenta menor teor de FDN comparada ao capim elefante.

O comportamento de PB foi semelhante aos parâmetros citados anteriormente, aumentando conforme adição das plantas. Os TCs apresentaram PB de 27,8 e 51,4 g/kg MS nos ensaios 1 e 2, respectivamente, semelhante aos citados por outros autores que avaliaram (CA), como por exemplo 23,8 g/kg MS encontrado por Ferro et al. (2017). Em contrapartida, no ensaio 2 o teor de PB encontrado foi maior do que a média (51,4 g/kg MS), que provavelmente está relacionado à utilização da planta mais jovem e com diferentes alturas de corte, com características bromatológicas superiores em relação à utilizada no ensaio 1, como demonstrado em trabalhos onde foi avaliado o teor de PB de silagens de CA com plantas em diferentes estágios de maturação no momento de corte onde os teores de PB variaram de 3,5 a 5,4% de PB entre silagens confeccionadas com plantas cortadas aos 420 e 180 dias, respectivamente (MURARO et al., 2009) e entre 6,4 e 1,8% de PB para plantas cortadas com 6 meses e 24 meses, respectivamente (KUNG JUNIOR; STANLEY, 1982). A CA é uma forrageira que necessita suplementação com proteínas e minerais, já que são nutrientes presentes em pouca quantidade (BOIN; TEDESCHI, 1993).

A adição de plantas com teores elevados de proteína em silagem de forrageiras comumente utilizada, pode ser uma boa estratégia nutricional. A inclusão de MO ou TD na CA apresentou resultados significativos e crescentes ($p < 0,001$) (Tabela 1). Os níveis de PB aumentaram de 56 a 89,5 g/kg MS com adição de MO e de 87,5 a 141 g/kg MS com adição de TD, valores adequados para manutenção da fermentação e microbiota ruminal (VAN SOEST, 1994), possibilitando a redução do uso de alimentos concentrados com alto teor de PB, que costumam elevar o preço da alimentação animal.

3.4.2. Produção de gases e degradabilidade

Em estudos *in vitro* a degradabilidade de substratos pode ser avaliada a partir da produção total de gases (SALLAM et al., 2010), que também reflete a extensão da fermentação (GETACHEW et al., 1998). Os valores cumulativos (NetGP) indicam que houve diferença significativa na fermentação das silagens, com redução na produção de gás acumulado, com inclusão de MO no tratamento T3 ($P < 0,001$) (Tabela 3) e nos três tratamentos com TD (T4, T5 e T6) ($P < 0,05$) (Tabela 4), porém, esses dados devem ser avaliados com cautela pois, de acordo com Cone e Van Gelder (1999), a comparação de produção de gases entre amostras com grandes diferenças no teor de PB pode ser equivocada, considerando que alimentos com alto teor desse nutriente, em geral, produzem menos gás na fermentação.

A (CA) apresentou o menor teor de PB entre os tratamentos em ambos experimentos (Tabela 1 e 2) e produziram mais gás (56,6 e 67,5 ml/g MOVD) do que os tratamentos T3, T4 T5 e T6, (Tabelas 3 e 4), indicando que a CA tem maior potencial de fermentação, entretanto, não difere do potencial de fermentação das silagens com inclusão de 25 e 50% de MO (T1 e T2) que, apesar de possuírem mais PB do que TC, resultaram em NetGP semelhantes. Esse resultado corrobora com o encontrado para os parâmetros DMS (T1) e DMO (T1 e T2), onde os tratamentos não apresentaram diferença na degradabilidade em comparação aos TC, enquanto os demais tratamentos com inclusão de MO e TD, apresentaram redução significativa na degradabilidade destes parâmetros, que pode estar relacionado ao aumento das frações fibrosas na composição química das silagens (Tabelas 1 e 2). Além disso, a redução da produção de gases acumulada foi diretamente relacionada à menor degradabilidade da matéria orgânica dos mesmos tratamentos, consequência de menor quantidade de substrato disponível para fermentação. O oposto também é verdadeiro, estudos demonstram que alimentos que possuem maior degradabilidade de matéria orgânica, conseqüentemente, geram maior produção de gás (EL-NILE et al., 2021), como demonstrado pelos autores Kumari et al. (2022) que avaliaram os efeitos da utilização de folhas de MO em diferentes proporções em ensaio *in vitro* e demonstraram aumento na produção total de gás de 150 (0% MO) a 171 (40% MO) (ml/g MS) enquanto, para os mesmos tratamentos, a degradabilidade verdadeira da matéria orgânica aumentou significativamente de 71 para 79%.

Forragens de alta qualidade tendem a diminuir a produção de CH_4 por alteração da rota de fermentação (BEEVER et al., 1986), enquanto forragens com mais

carboidratos estruturais favorecem o desenvolvimento de microrganismos metanogênicos (OLIVEIRA et al., 2016) e, em contrapartida, o alto teor de proteína promove o desenvolvimento de bactérias proteolíticas (CHURCH, 1988). Apesar do maior teor fibroso nos tratamentos com inclusão de MO e TD que, em teoria, propiciariam maior produção de gases, o maior teor de PB, de acordo com os maiores níveis de inclusão de cada planta, pode ter sido responsável pela redução na produção de CH₄ em T5, em função da menor produção de gases total, que apresentou redução significativa ($p=0,016$) na emissão de CH₄.

O FP representa a quantidade de matéria orgânica disponível para as bactérias fermentadoras que é utilizada para a produção de gases e crescimento microbiano (CAREGNATO et al., 2019). Nesta lógica, a MOVD indica o teor do substrato fermentado, enquanto NetGP indica a parcela que foi utilizada para produção de AGCC (CAREGNATO et al., 2019; GETACHEW et al., 1998). O valor encontrado do FP neste trabalho foi significativamente menor em T1 ($P=0,035$) (Tabela 3) e maior em T5 ($P= 0,021$) (Tabela 4). O FP indica a relação entre a produção de gases e a degradabilidade do substrato, sendo assim, esses resultados podem estar relacionados com menor (T1) ou maior (T5) eficiência microbiana, além de indicar a proteína microbiana potencialmente disponível no intestino (BLUMMEL; MAKKAR; BECKER, 1997). Um FP alto das forragens também pode representar maior consumo de MS, sendo um bom índice de qualidade da forragem (BLUMMEL; MAKKAR; BECKER, 1997). Rivera et al. (2011) demonstraram FP de 11,3 em um estudo de fermentação *in vitro* com TD em 48 horas. Os autores concluíram que o uso dessa forragem em dieta de ruminantes de alta produção contribui para melhorar a degradabilidade das dietas e redução na emissão de CH₄ entérico. Resultado semelhante foi observado no T5, onde o FP foi maior em relação ao TC concomitantemente à redução de Net CH₄ (de 14,9 no TC para 10ml/g MOVD).

Valores de pH ruminal entre 6,5 e 6,8 são ideais para atuação adequada de bactérias fibrolíticas e protozoários (VAN SOEST, 1994), entretanto, valores de pH entre 5,5 e 7,0 são considerados ideais para o bom funcionamento ruminal (FURLAN; MACARI; FARIA FILHO, 2006). Os valores de pH encontrados neste trabalho apresentaram diferença significativa ($P<0,05$) para todos os tratamentos em relação ao TC. Porém, apesar de terem sido maiores nos tratamentos avaliados, ainda se encontram dentro da faixa ideal. Resultados semelhantes foram observados em experimentos *in vivo*, onde os autores encontraram valores médios de pH de 7,13

(SANTOS et al., 2004) e 7,04 (SILVEIRA et al., 2006) que, segundo esses autores, são valores esperados para animais com dietas predominantemente compostas por forragem.

3.4.3. Perfil de fermentação

A mensuração do acúmulo de gás em ensaios *in vitro* são importantes para compreensão da cinética da digestão dos alimentos no conteúdo ruminal e, para isso, são utilizados modelos matemáticos para descrever e interpretar a cinética de produção de gases *in vitro*. O potencial de produção de gases predito pelo modelo foi inferior no T3 (Tabela 5), T4, T5 e T6 (Tabela 6), assim como observado em NetGP (Tabelas 3 e 4). O parâmetro $T_{1/2}$, que representa o tempo em que foi atingida a metade da produção total de gases, foi semelhante entre todos os tratamentos ($P > 0.05$), indicando que as silagens apresentaram perfis de fermentação similares e indicam que o substrato contém um maior teor de compostos solúveis rapidamente fermentáveis. Resultado semelhante foi descrito por Aberra (2011), onde o autor demonstrou rápida produção de gás na fase inicial da fermentação de folhas de MO com conseqüente diminuição no volume de gás nas horas seguintes no ensaio *in vitro* de 48h. Enquanto $\mu_{1/2}$ demonstra que a taxa de fermentação é mais rápida nas horas iniciais quando comparado a taxa de produção do volume potencial.

A produção de gás apresenta relação linear com a degradação do FDN, há uma tendência em maior produção de gases em forragens com maior teor de FDN (NSAHLAI; UMUNNA; NEGASSA, 1995). Porém, segundo Giraldo et al. (2006) isso nem sempre é observado, como encontrado neste trabalho. Maior produção de gás ocorre quando maior parte do substrato é convertido em acetato ou butirato, enquanto menor produção é associada à produção de propionato (NGAMSAENG; WANAPAT; KHAMPA, 2006). Beever e Mold (2000), assim como Blummel et al. (1999) concluíram que os dados obtidos com a produção de gases *in vitro* devem ser complementados com dados de degradação dos substratos, perfis de ácidos graxos voláteis e microbiota, para obtenção de uma resposta mais assertiva sobre a qualidade dos alimentos.

Desta maneira, para concluir de maneira mais assertiva sobre os resultados encontrados neste trabalho, faz-se necessário incorporar resultados de AGCC e microbiota, para obtenção de melhor resposta sobre como a inclusão de MO ou TD

influencia a qualidade das silagens de CA em relação à qualidade, produção de gases e perfil de fermentação.

3.5. Conclusão

A inclusão de *Moringa Oleifera* e *Tithonia diversifolia* melhorou consideravelmente a qualidade nutricional da SCA através do aumento de PBe reduziu a produção total de gases com 75% de MO, e em todos os níveis de inclusão de TD. Apesar da diminuição dos índices de degradabilidade de MS e MO, as silagens estudadas demonstraram ser boa alternativa de fonte volumosa capaz de aumentar o fornecimento de PB das dietas à baixo custo de produção e, por isso, são necessários estudos de digestibilidade *in vivo*, utilizando essas dietas, afim de elucidar os efeitos na digestibilidade dos nutrientes pelos animais.

Referências

ABDALLA, A. L., LOUVANDINI, H., SALLAM, S. M. A. H., BUENO, I. C. S., TSAI, S. M., DE FIGUEIRA, A. V. O. *In vitro* evaluation, *in vivo* quantification, and microbial diversity studies of nutritional strategies for reducing enteric methane production. **Tropical Animal Health and Production**. v. 44, p. 953–964, 2012.

ABERRA, M. Comparative assessment on chemical compositions and feeding values of leaves of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* using *in vitro* gas production method. **Ethiopian Journal of Applied Science and Technology**. v. 2, p. 29-38, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg, USA: AOAC International, 2011.

ARCANJO, A. H. M.; SOARES, N. DE A.; OLIVEIRA, A. R.; PEREIRA, K. A.; ANÉSIO, A. H. C. Silagem de leguminosas: revisão de literatura. **Nutritime**. v. 13, p. 4702-4710, 2016.

AZEVEDO, M. M. R.; GUIMARÃES, A. K. V.; CABRAL, I. DOS S.; BARBOSA, C. R.; MACHADO, L. S.; PANTOJA, J. DE. C. Characteristics of elephant grass silage (*Pennisetum purpureum* Schum.) with inclusion levels of moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Brazilian Journal of Development**. v. 6, p. 71418-71433, 2020.

BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BAKKE, O. A. Características de crescimento e valor forrageiro da moringa (*Moringa oleifera* Lam) submetida a diferentes adubos orgânicos e intervalos de corte. **Engenharia Ambiental**. v. 7, p. 133-144, 2010.

BARBA, C.; FERNANDÉZ-TOMILLO, L.; JIMÉNEZ, R.; GUZMÁN, JR; GARCÍA, A. Valor ecológico ambiental y conservación de razas ovinas en peligro de extinción en Andalucía, **Archivos de Zootecnia**. v. 65, p. 445-48, 2016.

BEEVER, D. E.; DHANOA, M. S.; LOSADA, H. R.; EVANS, R. T.; CAMMELL, S. B.; FRANCE, J. The effect of forage species and stage of harvest on the processes of digestion occurring in the rumen of cattle. **British Journal of Nutrition**. v. 56, p. 439–454, 1986.

BEEVER, D. E.; MOULD, F. L. Forage Evaluation for Efficient Ruminant Livestock Production. In: GIVENS, D.I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E.; OMEDEDS, H. M. (eds.). **Forage Evaluation in Ruminant Nutrition**. Oxfordshire, UK: CAB, 2000. p. 15–42.

BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *In vitro* gas production: A technique revisited. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 77, p. 24–34, 1997.

BLÜMMEL, M.; SCHRÖDER, A.; SÜDEKUM, K. H.; BECKER, K. Estimating ruminal microbial efficiencies in silage-fed cattle: comparison of an *in vitro* method with a combination of *in situ* and *in vivo* measurements. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. v. 81, p. 57–67, 1999.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Cana-de-açúcar na alimentação de gado de corte. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 1993, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 107-126.

BUENO, I. C. S.; FILHO, S. L. C.; GOBBO, S. P.; LOUVANDINI, H.; VITTI, D. M.; ABDALLA, A. L. Influence of inoculum source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**. v. 123, p. 95–105, 2005.

CALSAVARA, L. H. F.; RIBEIRO, R.S.; SILVEIRA, S.R.; DELAROTA, G.; FREITAS, D.S; SACRAMENTO, J.P.; PACIULLO, D.S.C.; MAURÍCIO, R.M. Potencial forrageiro da *Tithonia diversifolia* para alimentação de ruminantes. **Livestock Research for Rural Development**. v. 28, p. 1-9, 2016.

CANDIDO, M. J. D.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M.; FERREIRA, A. C. H. Características fermentativas e composição química de silagens de capim elefante contendo subproduto desidratado do maracujá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1489-1494, 2007.

CAREGNATO, N. E.; MENEZES, L. F. G. DE; PAULA, F. L. M. DE; FARIAS FILHO, J. DE A.; CARNEIRO, F.; BARAVIERA, H. H. I. Fermentação e composição bromatológica da silagem de cana-de-açúcar inoculada com *Lactobacillus buchneri*, associada ou não à adição de fontes de carboidratos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 20, p. 1-10, 2019.

CHURCH, D.C. **The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition**. Englewood Cliffs, NJ: Waveland Press, 1988. 563 p.

CONE, J. W.; VAN GELDER, A. H. Influence of protein fermentation on gas production profiles. **Animal Feed Science and Technology**, v. 76, p. 251-264, 1999.

CRUZ, L. R.; GERASEEV, L. C.; CARMO, T. D.; SANTOS, L. D. T.; BARBOSA, E. A.; COSTA, G. A.; SANTOS JR, A. Características agronômicas e composição bromatológica de variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**. v. 30, p. 1779-1786, 2014.

DECKER, S. R. F.; FERNANDES, D. A. C.; GOMES, M. C. Gestão competitiva na produção de ovinos. **Revista Agropampa**, v. 1, p. 113-122, 2016.

DRIEHUIS, F.; WILKINSON, J. M.; JIANG, Y.; OGUNADE, I.; ADESOGAN, A. T. Animal and human health risks from silage. **Journal of Dairy Science**. v. 101, p. 4093-4110, 2018.

EL-NILE, A.; ELAZAB, M.; EL-ZAIAT, H.; EL-AZRAK, K.E.-D.; ELKOMY, A.; SALLAM, S.; SOLTAN, Y. *In vitro* and *in vivo* assessment of dietary supplementation of both natural or nano-zeolite in goat diets: effects on ruminal fermentation and nutrients digestibility. **Animals**. v. 11, art. 2215, 2021.

FERNANDES, D. L. **Produtividade e composição bromatológica da forragem de moringa**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2017.

FERRO, M. M.; ZANINE, A. M.; CASTRO, W. J. R.; SOUZA, A. L. Cinética de fermentação ruminal *in vitro* de silagem de cana-de-açúcar com resíduo de cervejaria desidratado. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, p. 237-342, 2017.

FAO. **The State of Agricultural Commodity Markets** - Agricultural trade, climate change and food security. Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9542EN/i9542en.pdf>>.

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D. E. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. In: BERCHIELLI, T. T. et al. **Nutrição de ruminantes**. 1. ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2006. p. 1-23.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, p. 106-109, 2008.

GETACHEW, G.; BLUMMEL, M.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. *In vitro* gas measuring technique for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 72, p. 261-281, 1998.

GIRALDO, L. A.; GUTIÉRREZ, L. A.; SÁNCHEZ, J.; BOLÍVAR, D. M. Relación entre presión y volumen para el montaje de la técnica *in vitro* de producción de gas en Colombia. **Livestock Research for Rural Development**, v. 19, n.4, p. 407-414, 2006.

GUALBERTO, A. F.; FERRARI, G. M.; ABREU, K. M. P.; LIMA PRETO, B.; FERRARI, J. L. Características, Propriedades E Potencialidades Da Moringa (*Moringa Oleifera Lam.*): Aspectos Agroecológicos. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, p. 19-25, 2015.

KUNG, L., STANLEY, R. W. Effect of Stage of Maturity on the Nutritive Value of Whole-Plant Sugarcane Preserved as Silage. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 4, p. 689, 1982.

LIGOSKI, B.; GONÇALVES, L. F.; CLAUDIO, F. L.; ALVES, E. M.; KRUGER, A. M.; BIZZUTI, B. E.; LIMA, P. M. T.; ABDALLA, A. L.; PAIM, T. P. Silage of intercropping corn, palisade grass, and pigeon pea increases protein content and reduces *in vitro* methane production. **Agronomy**, v. 10, art. 1784, 2020.

LIMA, P. D. M. T.; MOREIRA, G. D.; SAKITA, G.; NATEL, A. S.; DE MATTOS, W. T.; GIMENES, F. M. A.; GERDES, L.; MCMANUS, C.; ABDALLA, A. L.; LOUVANDINI, H. Nutritional evaluation of the legume *Macrotyloma axillare* using *in vitro* and *in vivo* bioassays in sheep. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 102, p. 669–676, 2018.

LONGO, C.; BUENO, I. C. S.; NOZELLA, E.; GODDOY, P.; FILHO, S. C.; ABDALLA, A. L. The influence of headspace and inoculum dilution on *in vitro* ruminal methane measurements. **International Congress Series**, v. 1293, p. 62–65, 2006.

MAURICIO, R. M.; MOULD, F. L.; DHANOA, M. S.; OWEN, E.; CHANNA, K. S.; THEODOROU, M. K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feeds evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 321-330, 1999.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow, UK: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.

MEDEIROS, F. F.; SILVA, A. M. A.; CARNEIRO, H.; ARAÚJO, D. R. C.; MORAIS, R. K. O.; MOREIRA, M. N.; BEZERRA, L. R. Fontes proteicas alternativas oriundas da cadeia produtiva do biodiesel para alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 67, p. 519-526, 2015.

MENDEIETA-ARAICA, B.; SPÖRNDLY, E.; REYES-SÁNCHEZ, N.; NORELL, L.; SPÖRNDLY, R. Silage quality when *Moringa oleifera* is ensiled in mixtures with Elephant grass, sugar cane and molases. **Grass Forage Science**. v. 64, p. 364-373, 2009.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. **Journal AOAC International**, v. 85, p. 1217–1240, 2002.

MONTOSSI, F.; FONT-I-FURNOLS, M.; DEL CAMPO, M.; SAN JULIAN, R.; BRITO, G.; SANUDO, C. Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. **Meat Science**, v. 95, p. 772–789, 2013.

MORAES, R. L. de; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G.; MARCONDES, M. I.; CARDOSO, L. L. Silagem de cana-de-açúcar tratada com inoculantes microbianos e suas misturas. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, p. 76-83, 2017.

MURARO, G. B., ROSSI JUNIOR, P., OLIVEIRA, V. C. DE GRANZOTTO, P. M. de C., SCHOGOR, A. L. B. Efeito da idade de corte sobre a composição bromatológica e as características da silagem de cana-de-açúcar plantada em dois espaçamentos e três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1525-1531, 2009.

NGAMSAENG, A.; WANAPAT, M.; KHAMPA, S. Evaluation of local tropical plants by *in vitro* rumen fermentation and their effects on fermentation end-products. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 5, p. 414-418, 2006.

NSAHLAI, I. V.; UMUNNA, N. N.; NEGASSA, D. The effect of multi-purpose tree digesta on *in vitro* gas production from napier grass or neutral-detergent fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 69, p. 519-528, 1995.

NUSSIO, L. G.; SCHMIDT, P.; PEDROSO, A. F. Silagem de cana-de-açúcar. In: EVANGEISTA, A. R.; REIS, S. T.; GOMIDE, E. M. (eds.). **Forragicultura e pastagens**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2003. p. 49-72. (Temas em Evidência, 1).

NZIGUHEBA, G.; MERCKX, R.; PALM, C. A.; MUTUO, P. Combining *Tithonia diversifolia* and fertilizers for maize production in a phosphorus deficient soil in Kenya. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 165–174, 2002.

OLIVEIRA, M. M.; CHIODI, M. S.; FERNANDES, H. J.; LISITA, F. O.; LUZ, D. F.; SALLA, L. E. *Moringa oleifera* na alimentação de bezerros lactentes da raça Pantaneira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, p. 152-160, 2017.

OLIVEIRA, V. D. S.; NETO, J. A. S.; VALENÇA, R. D. L.; DA SILVA, B. C. D.; DOS SANTOS, A. C. P. Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre a microbiota ruminal. **Veterinária Notícias**, v. 22, p. 22, 2016.

OLIVEIRA, J.S.; MIRANDA, J.E.C. de; CARNEIRO, J. da C.; D'OLIVEIRA, P.S.; MAGALHÃES, V.M.A. de. **Como medir a matéria seca (MS%) em forragem utilizando forno de micro-ondas**. Juíz de Fora: EMBRAPA – Comunicado técnico, n. 77, 2015. 6 p.

PANDEY, A.; PRADHEEP, K.; GUPTA, R.; NAYAR, E. R. “Drumstick Tree” (*Moringa Oleifera Lam.*): A Multipurpose Potential Species in India. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, p. 453-460, 2011.

PANDOLFI FILHO, A. D.; DO VALLE, C. B.; BARRIOS, S. C. L.; ALVES, G. F.; DEMINICIS, B. B. Avaliação de genitoras sexuais de *Brachiaria* spp. na época seca, **Archivos de Zootecnia**, v. 65, p. 213-219, 2016.

PARENTE, L.; FERREIRA, L.; FARIA, A.; NOGUEIRA, S.; ARAÚJO, F.; TEIXEIRA, L.; HAGEN, S. Monitoring the brazilian pasturelands: A new mapping approach based on the landsat 8 spectral and temporal domains. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 62, p. 135-143, 2017.

PÉREZ, A.; MONTEJO, I.; IGLESIAS, J. M.; LÓPEZ, O.; MARTÍN, G. J.; GARCÍA, D. E.; MILIÁN, I.; Hernández, A. *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray. **Pastos y Forrages**, v. 32, n. 1, p. 1-15, 2009.

PRESTON, T. R. Biological and chemical analytical methods. In: PRESTON, T. E. (ed). **Tropical animal feeding: A manual for research workers**. Rome: FAO, 1995. p. 181–239.

REIS, M. M.; SANTOS, L. T. D.; PEGORARO, R. F.; COLEN, F.; ROCHA, L. M.; FERREIRA, G. A. P. Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 1008-1013, 2016.

RESENDE, F.D.; QUEIROZ, A.C.; FONTES, C.A.A. Rações com diferentes níveis de fibra em detergente neutro na alimentação de bovídeos em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 23, p. 366-376, 1994.

RIVERA, J. E.; NARANJO, J. F.; CUARTAS, C. A.; ARENAS, F. A. Fermentación *in vitro* y composición química de algunos forrajes y dietas ofrecidas bajo un Sistema Silvopastoril en el trópico de altura. **Livestock Research for Rural Development**, v. 25, art. 174, 2013.

ROOKE, J. A.; HATFIELD, R. D. Biochemistry of ensiling. In: BUXTON, D. R.; MUCK, R. E.; HARRISON, J. H. **Silage science and technology**. Madison: ASA, 2003. v. 1, p. 95-140.

ROTH, T. C.; LADAGE, L. D.; PRAVOSUDOV, V. V. Learning capabilities enhanced in harsh environments: A common garden approach. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**. v. 277, p. 3187-3193, 2010.

RUÍZ, T. E.; FEBLES, G. J.; GALINDO, J. L.; SAVÓN, L. L.; CHONGO, B. B.; TORRES, V.; CINO, D. M.; ALONSO, J.; MARTÍNEZ, Y.; GUTIÉRREZ, D.; CRESPO, G. J.; MORA, L.; SCULL, I.; LA, O. O.; GONZÁLES, J.; LOK, S.; GONZÁLES, N.; ZAMORA, A. *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**. v. 48, p. 79-82, 2014.

SALLAM, S. M. A. H.; BUENO, I. C. S.; GODOY, P. B.; NOZELLA, E. F.; VITTI, D. M. S. S.; ABDALLA, A. L. Ruminal fermentation and tannins bioactivity of some browses using a semi-automated gas production technique. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**. v. 12, p. 1-10, 2010.

SANTOS, E. D. G.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; LANA, R. P.; QUEIROZ, D. S.; FONSECA, D. M. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em tourinhos limousin-nelore, suplementados durante a seca em pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* stapf. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 33, p. 704-713, 2004.

SANTOS, L. E. DOS; CUNHA, E. A.; BUENO, M. S.; VERÍSSIMO, C. J. **Alimentação de ovinos**: atualidades na produção ovina em pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2021. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1178134057.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SILVEIRA, M. F.; KOZLOSKI, G. V.; BRONDANI, I. L.; ALVES FILHO, D. C.; RESTLE, J.; LEITE, D. T.; METZ, P. A. M.; SILVEIRA, S. R. L. Ganho de peso vivo e fermentação ruminal em novilhos mantidos em pastagem cultivada de clima temperado e recebendo diferentes suplementos. **Ciência Rural**. v. 36, n. 3, p. 898-903, 2006.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S.; MCALLAN, A. B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**. v.48, p. 185–197, 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**. v. 74, p. 3583-3597, 1991.

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

VIDAL GONZÁLEZ, C.; BARBA, C.; PEREA, J.; ANGÓN, E.; PUNTAS, J.A.; ROUCO, A. Caracterización preliminar del sistema mixto ovino Segureño, **Archivos de Zootecnia**, v. 65, p. 433-435, 2016.

VOLTOLINI, T. V.; BELEM, K. V. J.; DE ARAÚJO, G. L.; DE MORAES, S. A.; GOIS, G. C.; CAMPOS, F. S. Quality of leucaena, gliricidia, and pornunça silages with different old man saltbush levels. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 40, p. 2363-2374, 2019.

WANG, M.; TANG, S. X.; TAN, Z. L. Modeling *in vitro* gas production kinetics: Derivation of Logistic–Exponential (LE) equations and comparison of models. **Animal Feed Science and Technology**. v. 165, p.137–150, 2011.

4 Digestibilidade e produção de gases *in vivo* de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar com inclusão de *Moringa oleifera* e *Tithonia diversifolia*.

Resumo: A produção de alimentos para ruminantes desempenha um papel crucial na segurança alimentar global, requerendo um desenvolvimento sustentável que minimize o impacto ambiental. A busca por alternativas nutricionais eficientes na alimentação de ruminantes visa melhorar a produtividade animal de forma sustentável, reduzindo custos e impactos ambientais. Estudos têm explorado o potencial das plantas forrageiras alternativas, como a *Moringa oleifera* (MO) e a *Tithonia diversifolia* (TD), para melhorar a qualidade nutricional da dieta dos animais. A MO é rica em proteína, vitaminas e minerais, enquanto a TD é uma planta forrageira com alto teor de proteína, minerais e compostos bioativos. A inclusão dessas plantas na dieta de ruminantes pode melhorar a qualidade nutricional, promover o desempenho animal e potencialmente reduzir a produção de GEE, como o metano (CH₄), pelos animais. O objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de silagem de cana-de-açúcar (SCA) com adição das plantas MO e TD buscando contribuir para o entendimento dos efeitos da inclusão dessas plantas na dieta de cordeiros e seu impacto na digestibilidade dos nutrientes e na produção de gases *in vivo*. Os animais foram divididos em 7 tratamentos de acordo com a inclusão de MO e TD na silagem de CA, de acordo com a matéria seca: TC: 100% CA; T1= 75% CA + 25% MO; T2= 50% CA + 50% MO; T3= 25% CA + 75% MO; T4= 75% CA + 25% TD T5= 50% CA + 50% TD; T6= 25% CA + 75% TD. Os animais foram submetidos a um ensaio *in vivo* de digestibilidade seguido por um ensaio de mensuração da produção de gases. Houve efeito significativo da inclusão de MO na SCA em relação a concentração de taninos. A digestibilidade da proteína bruta foi significativamente maior nos tratamentos com a inclusão das duas plantas e o consumo de matéria seca não foi influenciado. Houve incremento no balanço de nitrogênio com adição das duas plantas, no entanto, não foram observadas diferenças na produção de gases total e na emissão de CH₄. A inclusão de *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD) como ingredientes alternativos na SC) oferece uma fonte de proteína econômica em comparação com alimentos convencionais na alimentação de ruminantes, apresentando potencial para a nutrição animal. Embora este estudo não tenha demonstrado melhorias significativas nos parâmetros avaliados, o aumento do teor de proteína pode trazer outros benefícios, especialmente em relação ao desempenho dos animais. Portanto, são necessárias mais pesquisas para investigar a utilização dessas duas plantas e controlar melhor a idade de corte durante a confecção da silagem, o que pode contribuir ainda mais para a qualidade do material ensilado.

Palavras-chave: Alternativas nutricionais, desenvolvimento sustentável, qualidade nutricional, CH₄ entérico.

4.1. Introdução

A produção de alimentos para ruminantes desempenha papel crucial na segurança alimentar global. Desta maneira, é necessário o desenvolvimento sustentável da produção de proteína animal, bem como de leite e outros produtos derivados afim de minimizar o impacto ambiental do setor através de estratégias que maximizem a digestibilidade dos alimentos e aumentem a eficiência desta utilização (McGRATH et al., 2018; MICHALK et al., 2019). Os ruminantes são conhecidos por possuírem habilidade de converter alimentos fibrosos e de baixa qualidade em produtos de origem animal, no entanto, a eficiência dessa conversão depende da qualidade nutricional da dieta (VAN SOEST, 1994).

A busca crescente por alternativas nutricionais eficientes na alimentação de ruminantes deve-se à necessidade de melhorar a produtividade animal ao passo que envolva também a redução de custos e minimização dos impactos ambientais (DECKER et al., 2016). A utilização de alternativas nutricionais eficientes visa otimizar a utilização de recursos disponíveis, como alimentos fibrosos, e promover alimentação balanceada que supra as necessidades nutricionais dos animais. Neste contexto, estudos recentes têm destacado a importância dessa busca por alternativas nutricionais, como por exemplo em estudo realizado por Neto, Oliveira e Valença (2015) onde os autores avaliaram o uso de leguminosas alternativas na alimentação de ovinos e verificaram que a inclusão desta fonte alternativa é viável para melhorar a produtividade na região nordeste do Brasil.

A utilização da SCA na alimentação de ruminantes desperta interesse devido à sua disponibilidade, por ser essa cultura amplamente cultivada em diversas regiões, baixo custo e alto teor de energia (SILVA et al., 2020). Porém, há também desafios em sua utilização relacionados à sua composição nutricional e características físico-químicas. A baixa digestibilidade da SCA para cordeiros pode ser desafiadora devido à presença de componentes como a lignina e o baixo teor de proteína. A lignina é um polímero complexo que confere rigidez às células vegetais, dificultando a degradação dos tecidos fibrosos e reduzindo a digestibilidade da fibra (VAN SOEST, 1994; HAN et al., 1983). Além disso, o teor baixo de proteína desta silagem pode limitar a síntese de proteína microbiana no rúmen e afetar negativamente o desempenho dos cordeiros (SANTOS, 2006) e, por isso, estudos têm demonstrado a importância de melhorar a qualidade nutricional da SCA, especialmente em relação à qualidade nutricional e ao

teor de proteína (BATISTA; CARDOSO, 2022), utilizando estratégias que visam suprir as demandas nutricionais dos animais e garantir um crescimento adequado.

Estudos recentes têm explorado o potencial das plantas forrageiras alternativas para melhorar a qualidade nutricional da silagem e, conseqüentemente, otimizar o desempenho dos animais. Pesquisas conduzidas por Costa et al. (2022) investigaram a inclusão de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Belmonte) associado à SCA, uma vez que essa planta apresenta maior teor de proteína em comparação com a SCA, contribuindo para melhorar a qualidade da silagem e, conseqüentemente, suprir as exigências nutricionais dos animais. Desta maneira, as plantas MO e TD têm se destacado como fontes promissoras de nutrientes, incluindo proteína, vitaminas e minerais, na alimentação de ruminantes.

A MO é reconhecida por sua alta concentração de proteína, além de conter uma variedade de vitaminas e minerais essenciais. Um estudo conduzido por Abdel-Raheem e Hassan (2021) avaliou a inclusão de folhas de MO na dieta de búfalos e verificou melhorias significativas na digestibilidade de MS, matéria orgânica e fibra, além de observarem melhoria no perfil de fermentação ruminal, desempenho e redução na emissão de CH₄ com a inclusão de 15% deste alimento.

A *Tithonia diversifolia*, por sua vez, é uma planta forrageira rica em proteína, minerais e compostos bioativos (PAZLA; JAMARUN; ARIEF, 2018). Um estudo realizado por Ribeiro et al. (2016) investigou a *Tithonia diversifolia* como suplemento alimentar para vacas leiteiras e apontaram resultado positivo no uso potencial desta planta como forragem alternativa para alimentação de ruminantes.

Esses estudos ressaltam o potencial das plantas MO e TD como fontes de nutrientes na alimentação de ruminantes. A inclusão dessas plantas nas dietas pode contribuir para melhorar a qualidade nutricional, promover o desempenho animal e potencialmente aumentar o valor nutricional dos produtos de origem animal.

Além disso, a produção de CH₄ por ruminantes é um tema de grande relevância devido ao seu impacto significativo nas emissões de GEE. A dieta dos ruminantes desempenha um papel fundamental nessa questão, pois influencia diretamente a quantidade de CH₄ produzida durante a fermentação ruminal. Alimentos fibrosos apresentam uma estrutura complexa que exige uma maior atividade microbiana para sua digestão, resultando em uma produção mais elevada de CH₄. Por outro lado, alimentos com alto teor de proteína, como leguminosas, podem fornecer nutrientes

mais facilmente degradáveis, reduzindo a atividade microbiana necessária e, consequentemente, a produção de CH₄ (PEDREIRA et al., 2005).

Desta maneira, o objetivo deste estudo é avaliar a utilização de SCA com adição das plantas MO e TD buscando contribuir para o entendimento dos efeitos da inclusão dessas plantas na dieta de cordeiros e seu impacto na digestibilidade dos nutrientes e na produção de gases *in vivo*.

4.2. Material e métodos

Este ensaio foi submetido para apreciação e aprovado pelos Comitês de Ética no Uso de Animais CEUA/CENA-USP (protocolo nº 011/2016) e CEUA-IZ do Instituto de Zootecnia (protocolo nº346-2022).

Os experimentos ocorreram em duas etapas, sendo a etapa I (ensaio de digestibilidade *in vivo*) no setor de confinamento de ovinos do Instituto de Zootecnia, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, na cidade de Nova Odessa – SP, cujas coordenadas geográficas são 22°46'39"S, 47°17'45"O e altitude de 570 m; e a etapa II (ensaio de produção de gases *in vivo*) nas instalações do Biotério do Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), na cidade de Piracicaba - SP, cujas coordenadas geográficas são 22°23'31"S, 47°38'57"O e altitude de 547m.

Figura 11 – Frente do galpão onde foi realizado o ensaio *in vivo* de digestibilidade (esquerda) e gaiola de metabolismo com os animais do experimento (direita).



Fonte: Arquivo pessoal

O uso de animais para ambos experimentos foi aprovado pelos Comitês de ética no uso de animais CEUA-IZ do Instituto De Zootecnia (protocolo nº346-2022) e CEUA/CENA-USP (protocolo nº 011/2016).

Foram utilizados 28 cordeiros, machos, mestiços e não castrados, provenientes de propriedade privada parceira do IZ com, aproximadamente, 90 dias, e peso médio de $28,4 \pm 3,1$ kg, divididos em 7 tratamentos, compostos de silagens de acordo com as proporções cana-de-açúcar (CA), *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD), com base na MS, como segue: Tratamento controle (TC): 100% CA; T1= 75% CA + 25% MO; T2= 50% CA + 50% MO; T3= 25% CA + 75% MO; T4= 75% CA + 25% TD; T5= 50% CA + 50% TD; T6= 25% CA + 75% TD.

Os animais foram alocados por um período de 24 dias em gaiolas de metabolismo individual munidas de cocho e bebedouro, dos quais 16 dias de adaptação e 8 dias de ensaio de digestibilidade, segundo metodologia de Schneider e Flat (1975).

A dieta foi formulada de acordo com as recomendações do National Research Council - NRC (2007), de acordo com os tratamentos propostos e foi composta por 40% de ração concentrada (a base de milho moído, farelo de soja, calcário, sal e mistura mineral) e 60% de volumoso, que correspondiam aos tratamentos a seguir (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 - Composição bromatológica dos ingredientes frescos utilizados na formulação das dietas.

	Concentrado	Cana-de-açúcar	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
MS (%)	89,4	94,6	93,5	94,4
MO (%)	93,7	97,6	93,9	91,6
PB (%)	19,1	4,2	13,4	7,7
EE (%)	3,8	0,10	0,25	0,11
MM (%)	6,3	2,4	6,1	8,4
FDN (%)	25,3	41,8	44,3	43,5
CNF (%)	45,5	51,5	35,9	40,3

MS = Matéria seca; MO = Matéria orgânica; PB = Proteína bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; FDN = Fibra em detergente neutro; CNF = Carboidratos não fibrosos.

Tabela 8 - Formulação das dietas e composição bromatológica dos tratamentos (volumoso).

	Tratamentos						
	TC	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Proporções das dietas							
Concentrado (%)	40	40	40	40	40	40	40
Volumoso (%)	60	60	60	60	60	60	60
Ingredientes							
Cana-de-açúcar (%)	100	75	50	25	75	50	25
<i>Moringa oleifera</i> (%)	0	25	50	75	0	0	0
<i>Tithonia diversifolia</i> (%)	0	0	0	0	25	50	75
Composição bromatológica do volumoso							
MS 105°C (%)	20	20,8	20,5	22,4	25,8	21,8	20,1
MO (%)	96,1	90,2	90	90,6	91,3	92,6	91,1
PB (%)	3,9	6,1	8,9	12,0	7,1	9,8	10,3
EE (%)	1,6	1,4	2,1	2,7	1,3	1,5	0,9
MM (%)	3,9	9,8	10	9,4	8,7	7,4	8,9
FDN (%)	66,1	48,1	58,4	49,8	52,8	50,1	63,3
CNF (%)	24,6	34,6	20,6	26,2	30,1	31,2	16,6

MS = Matéria seca; MO = Matéria orgânica; PB = Proteína bruta; EE = Extrato etéreo; MM = Matéria mineral; FDN = Fibra em detergente neutro; CNF = Carboidratos não fibrosos.

Foram coletadas amostras, de diferentes silos utilizados durante o ensaio de digestibilidade e de produção de gases, para composição de um pool de cada tratamento. De cada pool foram feitas duas alíquotas: uma para análise bromatológica, secas em estufa de ventilação forçada a 55°C até estabilização do peso constante e moídas em moinho tipo Willey com peneira de 2mm, e outra para análise de taninos, submetidas ao processo de liofilização e moídas com peneira de 1mm.

A quantificação de taninos foi realizada pela metodologia modificada de dosagem de taninos por HCL-Butanol (GRABBER; ZELLER; MUELLER-HARVEY, 2013), no Atelier Biochimie Fourrage da Unidade Conjunta de Pesquisa de Herbívoros (UMHR) do INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), Centro Auvergne-Rhône-Alpes, Theix, França.

Os animais foram alimentados duas vezes ao dia (manhã e tarde) de acordo com o consumo de matéria seca (CMS), inicialmente calculada para 3% do peso individual e, durante o período de adaptação, ajustada diariamente, aumentando ou diminuindo 10% do total oferecido, de acordo com a pesagem das sobras, a fim de permitir sobras de até 10%.

Durante o período do ensaio de digestibilidade (ensaio II), a produção diária de fezes e urina era coletada e mensurada, e então extraídas alíquotas de 10% para composição do pool amostral. Também foram coletadas e mensuradas as sobras de alimentos nos cochos. Todas as amostras eram identificadas, armazenadas em sacos plásticos e congeladas em freezer a -5°C para posteriores análises químicas.

Ao final do período experimental as amostras sólidas foram removidas do freezer e descongeladas à temperatura ambiente por 12 horas, secas em estufa de ventilação forçada à 55°C até estabilização do peso constante e moídas em moinho tipo Willey com peneira de 2mm. Enquanto as amostras de urina foram descongeladas a temperatura ambiente e separada em alíquotas para análises. As amostras de alimentos, fezes e urina foram submetidas à análise bromatológica onde foram avaliados os teores de MS 105°C, PB, EE e cinzas de acordo com AOAC (1990), FDN de acordo com o método de Van Soest et al. (1991), determinado o teor de energia bruta através de bomba calorimétrica e teor de nitrogênio das amostras de urina através do método micro Kjeldahl (GOMES, 1996).

O coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes (CDA) da dieta foi calculado utilizando-se a seguinte equação, descrita por Merchen (1988):

$$CDAN = \frac{(MS \text{ consumida} \times \% \text{ nutriente}) - (MS \text{ excretada} \times \% \text{ nutriente}) \times 100}{(MS \text{ consumida} \times \% \text{ nutriente})}$$

O balanço de nitrogênio (N) foi calculado, como descrito por Decandia et al. (2000), utilizando-se a fórmula:

$$N = N \text{ consumido} - N \text{ eliminado}$$

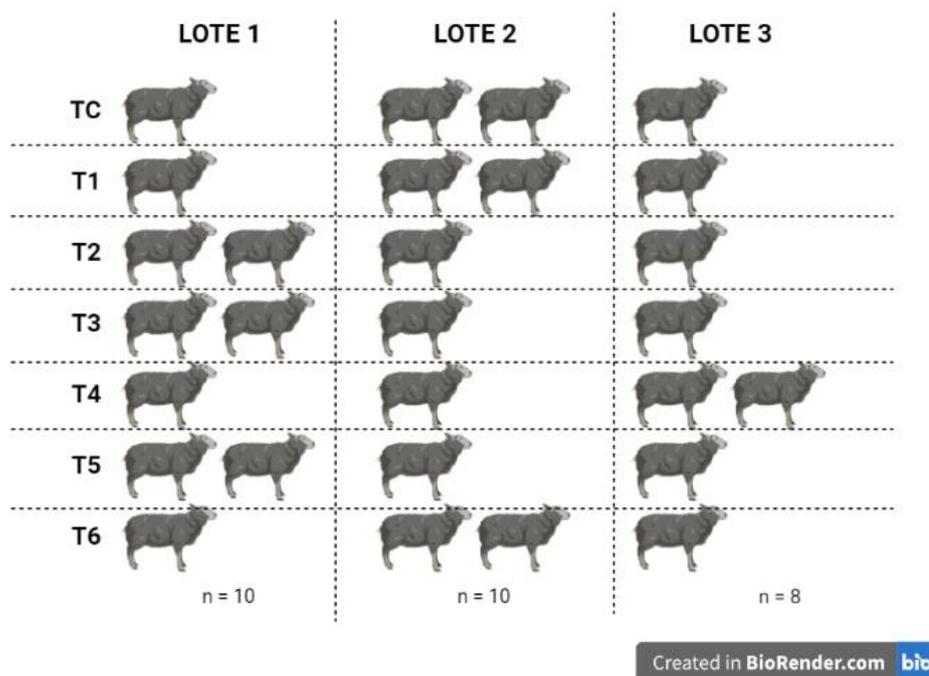
De acordo com a equação do NRC (2001), foi calculado NDT por:

$$NDT = \%PB \text{ digestível} + \%FDN \text{ digestível} + \%CNF \text{ digestível} \\ + (2,25 \times EE \text{ digestível})$$

Ao final do período do ensaio de digestibilidade os 28 animais foram divididos em 3 lotes para realização do ensaio de produção de CH₄ entérico *in vivo* em tres

períodos consecutivos, devido a limitação do número de câmaras respirométricas disponíveis (n=10), como demonstrado no esquema a seguir (Figura 12).

Figura 12 – Divisão dos animais em lotes do ensaio de produção de metano entérico *in vivo*.



Fonte: Próprio autor.

Os animais foram transportados de caminhão do IZ para o biotério do LANA (CENA) na ordem: lote 1, lote 2 e lote 3, respectivamente. Os animais foram aleatoriamente distribuídos em câmaras respirométricas (57x71x167 cm) de circuito semiaberto desenvolvidas no LANA-CENA, como descrito por Abdalla et al. (2012), recebendo as mesmas dietas da etapa anterior. O ensaio com cada lote teve duração de 4 dias, sendo dois primeiros de adaptação às câmaras, seguidos de dois dias de quantificação da produção de CH₄ entérico. Os outros dois lotes que permaneceram no IZ seguiram recebendo as mesmas dietas (tratamentos) nas mesmas quantidades da etapa anterior durante todo período experimental. Ao final do período de cada lote, o mesmo retornava ao IZ e então dava-se início ao período experimental do lote seguinte, sendo assim, o período total desta etapa foi de 12 dias.

As amostras foram lidas em cromatógrafo a gás Shimadzu® GC-2010, através de detector por ionização de chama (FID).

Figura 13 – Câmaras respirométricas.



Fonte: Arquivo pessoal.

Ao final de cada período de cada lote, foi coletado cerca de 200 mL de conteúdo ruminal (fração líquida e sólida) individualmente de cada animal, 2 horas após alimentação matinal, através de sonda esofágica acoplada à seringa. Deste conteúdo foi realizada aferição de pH com potenciômetro digital (DIGIMED®) e coletada alíquota para análise de N-NH₃ pelo método micro-Kjeldahl (AOAC, 1997).

4.2.1. Análise estatística

O delineamento empregado neste estudo foi inteiramente casualizado. A análise estatística foi realizada com o software RStudio (v.4.2.1) utilizando os pacotes “car”, “multcomp”, “emmeans”. Foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk para normalidade e Bartlett para homogeneidade dos resíduos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com 5% de significância ($P < 0,05$) e as médias foram submetidas a comparações múltiplas de contrastes pelo teste de Dunnett.

4.3. Resultados

Houve aumento da concentração de taninos (em porcentagem na MS) ($P \leq 0,01$) com a inclusão de MO na SCA em todos os tratamentos, enquanto apenas o T6 com inclusão de TD apresentou diferença significativa em relação ao TC ($P = 0,01$) (Tabela 9).

Tabela 9 - Concentração de taninos nas silagens de cana-de-açúcar (SCA) com inclusão de *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD).

Tratamentos	Taninos (% na MS)
TC: 100% CA	0,055
T1: 75% CA + 25% MO	0,095
T2: 50% CA + 50% MO	0,145
T3: 25% CA + 75% MO	0,155
T4: 75% CA + 25% TD	0,080
T5: 50% CA + 50% TD	0,055
T6: 25% CA + 75% TD	0,095
SE	0,006
ANOVA: Valor de P	0,018
Contrastes: Valor de P	
CA vs MO (25, 50, 75%)	0,004
CA vs MO 25% (T1)	0,01
CA vs MO 50% (T2)	*
CA vs MO 75% (T3)	*
CA vs TD (25, 50, 75%)	0,41
CA vs TD 25% (T4)	0,08
CA vs TD 50% (T5)	1,00
CA vs TD 75% (T6)	0,01

*: $P < 0,001$.

O CMS e coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes estão apresentados na Tabela 10.

Não houve diferença em CMS com adição de MO ou TD na dieta dos animais. Foi observada redução significativa ($P < 0,01$) no CDAMS do tratamento TC 57,3 para 39,4% em T4, assim como em CDAMOr de 60,2 para 43,3%, CDAFDN de 56,7 para 27,4% e CDAE de 59,7 para 42,5%, respectivamente. Enquanto o CDAPB foi positivamente influenciado ($P < 0,05$) pela inclusão de ambas as plantas, com aumento na digestibilidade de todos os tratamentos em comparação ao TC, com exceção de T4 onde o CDAPB reduziu de 27,1 (TC) para 18,8%.

Houve aumento significativo ($P < 0,05$) do balanço de nitrogênio (kg/dia) em todos os tratamentos, exceto T4, sendo a maior amplitude entre TC, com -0,02 e T3 com 0,61 kg/dia. A inclusão de 25% de TD (T4) influenciou negativamente ($P < 0,01$) o teor de NDT, enquanto o $N-NH_3$ não foi influenciado em nenhum dos tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 11).

Tabela 10 - Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) (%) de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD).

Tratamentos	CMS ¹	CDAMS	CDAMOr	CDAPB	CDAFDN	CDAEE	CDAENN	CDAE
TC: 100% CA	1,82	57,3	60,2	27,1	56,7	72,8	75,8	59,7
T1: 75% CA + 25% MO	1,75	60,2	63,0	43,7	48,3	71,3	84,6	62,7
T2: 50% CA + 50% MO	1,92	52,2	54,6	48,3	46,8	71,7	71,9	56,3
T3: 25% CA + 75% MO	1,81	60,2	63,9	65,0	51,6	79,8	80,3	64,3
T4: 75% CA + 25% TD	1,67	39,4	43,3	18,8	27,4	58,4	71,9	42,5
T5: 50% CA + 50% TD	2,11	57,2	58,9	55,2	44,1	70,8	79,2	56,6
T6: 25% CA + 75% TD	1,68	56,2	57,8	54,7	51,9	63,2	74,4	56,5
SE	0,23	3,00	2,96	3,68	4,44	2,97	2,66	2,72
ANOVA: Valor de P	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Contrastes: Valor de P								
SCA vs MO (25, 50, 75%)	0,02	1,00	1,00	0,02	0,33	0,88	0,57	0,90
SCA vs MO 25% (T1)	1,00	0,96	0,97	0,01	0,60	1,00	0,13	0,92
SCA vs MO 50% (T2)	1,00	0,68	0,59	0,00	0,44	1,00	0,79	0,88
SCA vs MO 75% (T3)	1,00	0,96	0,88	*	0,92	0,38	0,68	0,69
SCA vs TD (25, 50, 75%)	0,01	0,29	0,21	0,17	0,03	0,07	0,97	0,11
SCA vs TD 25% (T4)	0,99	*	*	0,34	*	0,01	0,80	*
SCA vs TD 50% (T5)	0,87	1,00	1,00	*	0,23	0,99	0,88	0,92
SCA vs TD 75% (T6)	1,00	1,00	0,98	*	0,94	0,14	1,00	0,90

¹: kg/dia; CMS: consumo de matéria seca; MS: Matéria seca; MOOr: Matéria orgânica; PB: Proteína bruta; FND: Fibra em detergente neutro; EE: Extrato etéreo; ENN: extrativo não nitrogenado; E: Energia; *: P<0,01.

Tabela 11 - Balanço de nitrogênio (Bal N), nutrientes digestíveis totais (NDT) e nitrogênio amoniacal do líquido ruminal (N-NH₃) de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD).

Tratamentos	Bal N (kg/dia)	NDT (%)	N-NH ₃ (g/L)
TC: 100% CA	-0,02	59,5	0,09
T1: 75% CA + 25% MO	0,23	58,8	0,12
T2: 50% CA + 50% MO	0,42	51,7	0,13
T3: 25% CA + 75% MO	0,61	61,3	0,13
T4: 75% CA + 25% TD	-0,03	41,0	0,13
T5: 50% CA + 50% TD	0,52	56,3	0,10
T6: 25% CA + 75% TD	0,42	54,0	0,11
SE	0,07	2,76	0,02
ANOVA: Valor de P	0,00	0,00	0,67
Contrastes: Valor de P			
CA vs MO (25, 50, 75%)	*	0,79	0,12
CA vs MO 25% (T1)	0,06	1,00	0,73
CA vs MO 50% (T2)	*	0,23	0,45
CA vs MO 75% (T3)	*	0,99	0,58
CA vs TD (25, 50, 75%)	0,03	0,07	0,30
CA vs TD 25% (T4)	1,00	*	0,51
CA vs TD 50% (T5)	*	0,91	1,00
CA vs TD 75% (T6)	*	0,53	0,91

*: P<0,01.

Não houve influencia ($P>0,05$) na produção diária de CH_4 pelos animais em nenhum dos tratamentos. A média de emissão, em litros por dia, variou entre 10,14 no TC até 13,54 em T3 e 9,13 em T4 (Tabela 12).

Tabela 12 - Produção de CH_4 entérico de cordeiros alimentados com silagem de cana-de-açúcar (CA) com inclusão de *Moringa oleifera* (MO) e *Tithonia diversifolia* (TD).

Tratamentos	CH_4 (l/d)	CH_4 (g/d)	CH_4 (g/Kg CMS/d)	CH_4 (g/PM)
TC: 100% CA	10,14	7,26	4,05	0,59
T1: 75% CA + 25% MO	10,58	7,58	4,71	0,65
T2: 50% CA + 50% MO	10,10	7,23	3,89	0,61
T3: 25% CA + 75% MO	13,54	9,69	5,95	0,79
T4: 75% CA + 25% TD	9,13	6,53	3,93	0,51
T5: 50% CA + 50% TD	14,79	10,59	5,03	0,79
T6: 25% CA + 75% TD	11,28	8,07	5,01	0,67
SE	1,67	1,19	0,83	0,10
ANOVA: Valor de P	0,22	0,22	0,49	0,25
Contrastes: Valor de P				
CA vs MO (25, 50, 75%)	0,73	0,73	0,58	0,55
CA vs MO 25% (T1)	1,00	1,00	0,98	0,99
CA vs MO 50% (T2)	1,00	1,00	1,00	1,00
CA vs MO 75% (T3)	0,53	0,53	0,42	0,49
CA vs TD (25, 50, 75%)	0,62	0,62	0,72	0,71
CA vs TD 25% (T4)	1,00	1,00	1,00	0,99
CA vs TD 50% (T5)	0,24	0,24	0,91	0,49
CA vs TD 75% (T6)	0,99	0,99	0,92	0,98

l/d: litros por dia; g/d: gramas por dia; g/kg CMS/d: gramas por quilos de consumo de matéria seca por dia; g/PM: gramas por peso metabólico.

4.4. Discussão

4.4.1. Taninos

As folhas de MO produzem metabólitos secundários, como taninos e saponinas, capazes de modificar as vias de fermentação do rúmen e prevenir o crescimento de metanogênicos de forma eficaz (ZERU et al., 2022). Porém, segundo Makkar e Becker (1997) as folhas da MO possuem quantidade insignificante de taninos. Já Leitanthem et al. (2022) encontraram 2,02% de taninos, com base na MS, nas folhas desta planta. Neste estudo a inclusão de MO aumentou linearmente a concentração de taninos das silagens (Tabela 9) em todos os tratamentos, que variou de 0,9% em T1 a 1,5% em T3. Já em relação à outra planta, a inclusão de 75% de TD influenciou no aumento da concentração de taninos da silagem, aumentando de 0,5% em TC para 0,9% em T6. Autores relatam que a quantidade deste composto presente na TD não é suficiente para influenciar negativamente o aproveitamento dos nutrientes

(GARCÍA et al., 2006; LEZCANO et al., 2012). Castro, Ledesma e Arizala (2017) encontraram entre 0,08 a 0,11% de taninos totais em três tipos de TD (diferentes manejos).

Os níveis de taninos encontrados neste estudo se encontram em um ponto que não apresenta efeitos negativos para os animais. Foram observadas reduções na ação proteolítica ruminal em dietas contendo entre 20 e 45g/kg de taninos (MIN et al., 2003), enquanto para exercer efeito negativo sobre consumo de MS e digestibilidade dos nutrientes, a concentração deveria ser superior a 50g de taninos por kg de MS consumida (FRUTOS et al., 2004).

Essa quantidade encontrada pode ser favorável aos animais por possibilitar a formação de proteína by-pass (LEZCANO et al., 2012), e nestas mesmas condições, os taninos podem reduzir a presença de protozoários ruminais, afetando a atividade metanogênica indiretamente e, conseqüentemente, aumentando a eficiência da utilização da energia dos alimentos pelos animais (GALINDO et al., 2011).

Portanto, os níveis de taninos encontrados nos tratamentos com MO ou TD foram relativamente baixos e, por isso, não se espera influência sobre palatabilidade, consumo e digestibilidade de MS das dietas.

4.4.2. Consumo e digestibilidade dos nutrientes

O consumo voluntário máximo de alimento é determinado pela combinação do potencial animal por demanda de energia e capacidade física do trato digestório, sendo proporcional ao tamanho do animal. O potencial de consumo de MS (CMS) do indivíduo depende, dentre vários fatores individuais, da composição da dieta, qualidade e quantidade de alimento oferecido (RESENDE, 2008). O CMS observado neste estudo foi similar para todos os tratamentos ($P > 0,05$) (Tabela 10) e variou entre 1,67 e 2,11 kg de MS por dia. Os tratamentos oferecidos aos animais durante o ensaio de digestibilidade não apresentaram grandes variações nos teores, principalmente, de MS, MOr, EE, enquanto a quantidade de FDN foi reduzida em todos os tratamentos e a PB aumentou em relação ao TC de acordo com a inclusão das duas plantas (Tabela 8). A composição química das dietas, portanto, está provavelmente relacionada com o CMS. Mendes et al. (2008) descreveram um consumo de silagem de cana de açúcar por cordeiros confinados em 1,39 kg MS por dia, citando que o valor encontrado está de acordo com as recomendações do NRC (1985). Enquanto um estudo que avaliou

a inclusão de folhas de MO na dieta a base de torta de amendoim para cordeiros, em comparação ao tratamento controle, os autores não encontraram diferença de CMS devido ao menor teor de fibras na composição da dieta, resultado similar observado neste trabalho, sugerindo que a composição das dietas com MO melhoraram a digestibilidade das dietas. Resultados semelhantes foram observados por Damor et al. (2017) que também descreveram diferenças não significativas no CMS em animais suplementados com folhas de MO.

Serrano, Piñeros-Varón e Vélez-Giraldo (2018) avaliaram o efeito da suplementação (25%) com TD para ovinos sobre consumo e digestibilidade dos nutrientes e relataram aumento no consumo de MS, MOr, FDN e EE e destacaram o aumento significativo no consumo de proteína devido ao incremento deste nutriente na dieta suplementada com TD. Os autores descreveram o aumento do CMS com a adição da planta, correlacionado com a maior disponibilidade proteica, resultado distinto ao presente estudo em que não houve diferença entre os consumos. Outro trabalho desenvolvido por Fadiyimu et al. (2010) também observaram aumento significativo na ingestão de PB e MS com inclusão de 25% de MO na dieta de ovinos, bem como melhora na digestibilidade dos nutrientes, e correlacionou ainda com a presença de taninos e saponinas da planta por servir como fonte de energia para os microrganismos ruminais durante a fermentação.

Com exceção do T4, tanto os tratamentos com MO quanto os tratamentos com TD não influenciaram ($P > 0,05$) os coeficientes de digestibilidade aparente de MS, MOr, FDN, EE, ENN e energia, enquanto o CDAPB foi significativamente maior ($P < 0,05$) (Tabela 10).

Entretanto, outros autores observaram aumento na digestibilidade dos nutrientes utilizando a suplementação com folhas de MO, como no CDAOM e de PB (LEITANTHEM et al., 2022; FADIYIMU et al., 2010) e também utilizando extrato de folhas de MO foi observado melhoria nos CDA de MOr, MS e FDN (KHOLIF et al., 2019). Estes trabalhos relatam a melhoria da digestibilidade associado aos compostos fenólicos, porém, como os tratamentos deste trabalho utilizaram as plantas inteiras, e não apenas folhas, a quantidade de taninos foi bastante reduzida e, por isso, possivelmente não contribuiu para melhoria destes parâmetros. Enquanto em outros trabalhos onde os autores utilizaram farinha de folhas de MO, não foi observado diferença na digestibilidade de MS com o aumento dos níveis de inclusão desta planta (BHOKRE et al., 2021; SULTANA et al., 2015; ASAOLU et al., 2011). Bhokre et al.

(2021) ainda demonstrou que não houve diferença significativa com inclusão de MO no CDAMOr e atribuiu o resultado à presença de proteína de alta qualidade da planta, assim como descrito por demais autores (SULTANA et al., 2015; TONA et al., 2014; ASAOLU et al.; 2011). A melhora no CDAPB também foi relatada em diversos trabalhos com inclusão da MO devido à qualidade proteica da dieta (ALI, 2017; OYEDELE et al., 2016), semelhante ao encontrado neste estudo.

O CDAFDN não foi influenciado com a adição das plantas, porém os teores de fibra das silagens foram reduzidos em relação ao TC. Em estudos semelhantes também não foram encontradas diferenças significativas para este parâmetro, e sugere um aumento na atividade de bactérias fibrolíticas no rúmen, provavelmente devido à disponibilidade de nutrientes essenciais, como proteínas, energia e minerais, em proporções equilibradas. Esses resultados são consistentes com os estudos de Soby et al. (2015), Sultana et al. (2015), Oyedele et al. (2016) e Ali (2017), assim como observado para CDAEE nos mesmos experimentos (ALI, 2017; SULTANA et al., 2015).

Vários autores demonstraram que espécies arbóreas ricas em proteínas, como a TD, podem melhorar a ingestão e digestibilidade da MS em pequenos ruminantes e isso ocorre devido a maior taxa de degradação ruminal, maior contribuição de nitrogênio para os microrganismos e menores percentuais de FDN em sua composição. Esses fatores contribuem para melhor utilização dos nutrientes pelos animais, melhorando a eficiência alimentar e produtividade (LARA et al., 2007; LIU et al., 2001; MARTÍNEZ et al., 2012). Serrano, Varón e Giraldo (2018) observaram maiores valores de digestibilidade *in vivo* e *in vitro* em dietas suplementadas com TD para ovinos e relataram que estes resultados dependem, em grande parte, da média da idade de rebrota e teores de FDN e FDA da planta, que variam de acordo com a idade no momento do corte, época do ano, condições de solo, entre outros fatores. Os mesmos autores relataram que a diminuição na digestibilidade é observada à medida que a forragem amadurece e folhas e caules mais velhos são utilizados na alimentação animal. Neste presente trabalho, durante as confecções das silagens, não foi possível realizar o corte para ensilagem no ponto máximo ideal de corte com as melhores condições bromatológicas de cada planta e, devido a isso, as plantas já possuíam tamanho e idade além do recomendado, logo, as características físicas e químicas destas plantas não permitiram melhor qualidade do material, o que

influenciou na qualidade final da dieta e, por isso, os índices de digestibilidade não foram melhorados com a inclusão da planta.

Apesar da diferença não significativa entre os CDA dos nutrientes, a melhora do CDAPB indica que ao incluir estas espécies forrageiras o aporte proteico das dietas é melhorado, ocasionando aumento do fluxo de nitrogênio do animal e representa uma prática interessante aos produtores. Kikelomo (2014) que relatou que o nitrogênio ingerido em animais está diretamente relacionado com a proporção de nitrogênio na dieta e também que o alto valor de nitrogênio retido com espécies que melhoram os teores percentuais de nitrogênio se deve à eficiência do aproveitamento da proteína em decorrência da suplementação. Mupangwa et al. (2000) relataram que esta situação proporciona um melhor equilíbrio de nutrientes por meio de uma melhor fermentação ruminal e fornecimento de proteína.

Em relação ao T4, com inclusão de 25% de TD na SCA, os CDA de MS, MO, FDN, EE, energia foram reduzidos, enquanto PB e ENN não foram influenciados. Esses resultados, associados ao balanço de nitrogênio e NDT, indicam que os nutrientes presentes neste tratamento não estavam biologicamente disponíveis para ser utilizado pelos animais e, portanto, houve redução dos CDA. A qualidade das silagens oferecidas deste tratamento durante o ensaio de digestibilidade estava dentro do esperado, apresentando pH, coloração e odor de acordo com o esperado. Foi verificado nos dados originais se poderia ter ocorrido alguma alteração fisiológica em um animal do grupo que comprometesse o resultado geral, porém através da análise estatística não foi detectado nenhum outlier. Uma observação interessante (nos dados brutos) foi a maior excreção de nitrogênio das fezes em relação aos outros grupos. Dietas com menor digestibilidade de proteína resulta em maior excreção de nitrogênio nas fezes, uma vez que uma porção maior da proteína ingerida não é absorvida pelo animal. Isso pode estar relacionado com a relação proteína-energia, quando essa relação é desequilibrada, pode ocorrer o excesso de nitrogênio nas fezes. Outro fator pode ser a composição e atividade da microbiota ruminal que afeta a eficiência de utilização da proteína pelos microrganismos. Devido a esses fatores, para uma melhor conclusão do que causou essa redução dos coeficientes de digestibilidade no T4, é necessária maior investigação a respeito da energia da dieta, microbiota ruminal e produção de AGV ruminal, a fim de elucidar melhor a resposta fisiológica obtida.

Portanto, a inclusão de TD e MO nas silagens de cana-de-açúcar auxilia como uma fonte saudável e acessível de micronutrientes e proteínas.

4.4.3. Balanço de nitrogênio, nutrientes digestíveis totais e nitrogênio amoniacal

Um balanço de nitrogênio positivo indica que os animais estão retendo mais nitrogênio do que estão excretando, indicando um aproveitamento eficiente do nitrogênio da dieta para crescimento e síntese de proteínas. Enquanto um balanço de nitrogênio negativo indica deficiência proteica na dieta ou utilização inadequada do nitrogênio consumido (DECANDIA et al., 2000).

As proteínas de leguminosas estão sujeitas a degradação durante a ensilagem e fermentação ruminal, resultando em perdas de N via excreção urinária e baixa eficiência do uso de N (BRODERICK, 1995). Com exceção do T4 o balanço de N dos tratamentos foi positivo com a adição das plantas com alto teor proteico. Niderkorn et al. (2019) ao avaliarem a inclusão de trevo vermelho na dieta de ovinos observaram aumento na quantidade de nitrogênio fecal por grama de ingestão de nitrogênio e uma diminuição na digestibilidade de N em comparação com outros tratamentos. Os autores relacionaram estes resultados com a presença de polifenol oxidase (PPO), uma enzima que catalisa oxidação de compostos fenólicos nas plantas, e que protege as proteínas da degradação no rúmen.

O balanço de nitrogênio observado (Tabela 11) está diretamente relacionado com a digestibilidade da proteína das dietas, portanto os índices de balanço de N positivo são dos mesmos tratamentos T1, T2, T3, T5 e T6, enquanto o tratamento T4 apresentou balanço de N negativo, similar ao TC, que indica uma quantidade inadequada ou indisponível para o bom aproveitamento deste nutriente.

Os nutrientes digestíveis totais (NDT) de uma dieta representam a fração dos nutrientes presentes que é efetivamente digerida e absorvida pelo animal e indica a quantidade de nutrientes disponíveis para o metabolismo e desempenho dos mesmos. Desta maneira, os resultados não significativos ($P>0,05$) encontrados para os CDA dos nutrientes das dietas, com exceção de CDAPB, corrobora com a semelhança entre os resultados de NDT ($P>0,05$).

Assim como o NDT, a concentração de $N-NH_3$ não foi influenciada pelos tratamentos. A concentração de $N-NH_3$ no líquido ruminal é o produto da degradação de proteínas no rúmen pelos microrganismos ruminais. Portanto, sua concentração reflete a eficiência da fermentação ruminal e a disponibilidade de nitrogênio para os microrganismos. Em experimentos de digestibilidade, uma alta concentração de $N-NH_3$ indica uma maior degradação de proteínas da dieta no rúmen. Isso pode ser

benéfico em termos de aproveitamento de nutrientes, pois uma maior degradação de proteínas pode levar a uma maior síntese microbiana de proteína, que é uma fonte importante de nutrientes para o animal. Leitanthem et al. (2022) não encontraram efeito significativo da inclusão de níveis crescentes de folhas de MO na concentração de N-NH₃ e atribuíram ao fato de que as dietas possuíam conteúdo similar de proteína em sua composição, diferente do que foi encontrado neste trabalho onde, apesar dos níveis crescentes de PB nos tratamentos, o N-NH₃ permaneceu semelhante entre eles. Em outro trabalho onde os autores observaram redução na concentração de N-NH₃ com inclusão de MO na dieta, este achado foi atribuído a presença de taninos e fenóis porque estes compostos ajudariam a reter proteínas e retardar a degradabilidade ruminal das mesmas (KHOLIF et al., 2015; 2016). Assim como Abdel-Raheem e Hassan (2021) que também observaram redução significativa da concentração de N-NH₃ com inclusão de até 20% de folhas de MO indicando a conversão melhorada de aminoácidos, peptídeos e rúmen N-NH₃ em proteína microbiana. Enquanto Serrano, Varón e Giraldo (2018) observaram melhor eficiência no uso de nitrogênio com inclusão de TD na dieta.

4.4.4. Metano entérico

A pecuária é constantemente apontada como um setor importante na emissão de GEE que causam aquecimento global (EISEN; BROWN 2022), portanto, dietas que contribuam para reduzir esses efeitos são de grande interesse no cenário atual.

As leguminosas, bem como outras plantas com alto teor proteico, podem ser empregadas como uma estratégia promissora para reduzir a produção de CH₄ entérico, pois contêm taninos em sua composição, que são polímeros polifenólicos com propriedades anti-metanogênicas significativas (KU-VERA et al., 2020). Dentre os metabólitos secundários encontrados na MO estão os taninos, que também podem ter efeitos antibacterianos e protozoários e que ajudam a reduzir a produção de CH₄ enquanto aumentam a produção de acetato, melhorando a digestão de carboidratos em ruminantes (PARRA-GARCIA et al., 2019).

Variações no teor de fibras das dietas dos animais alteram a fermentação ruminal, pois alimentos altamente fibrosos liberam mais H₂, levando a uma maior produção de CH₄. Por outro lado, aumentar o teor de proteína nas rações enquanto

reduz a fibra reduz a produção de CH₄ devido à menor produção de H₂ e CO₂ como resultado da degradação de proteínas do que carboidratos (KHOLIF et al., 2017).

No entanto, neste trabalho não foi observada redução da produção de CH₄ (Tabela 12) em nenhum dos tratamentos propostos. Como anteriormente discutido, a quantidade destes compostos foi muito baixa devido ao uso da planta inteira associada a CA para confecção das silagens, logo, esse efeito esperado para plantas leguminosas ou com alto teor proteico na redução da produção de CH₄ não foi observado.

Niderkorn et al. (2019) ao avaliarem inclusão de leguminosas em comparação com gramínea observaram redução da emissão de CH₄ e associaram este resultado a redução da digestibilidade da fração fibrosa e modificação do sistema fermentativo microbiano ruminal. Neste trabalho a fração fibrosa também não apresentou redução elevada em comparação ao TC, colaborando também para manutenção na produção de gases similar entre os tratamentos.

O uso de leguminosas forrageiras também desempenha um papel significativo na redução das emissões de GEE considerando a redução da necessidade de fertilizantes químicos contendo nitrogênio no cultivo, o que resulta em menor emissão de óxido nitroso. Além disso, as leguminosas ajudam a reduzir as emissões de CH₄ em animais ruminantes devido ao seu impacto positivo no desempenho animal (MACEDO et al., 2014). O uso dessas plantas também resulta em um maior teor de PB na dieta e uma proporção menor de parede celular. Isso leva a uma melhor digestibilidade da MS em comparação com gramíneas tropicais, mesmo quando considerado o mesmo estágio de desenvolvimento ou condições de cultivo. Portanto, apesar de não ter sido observada redução na emissão de CH₄ com inclusão de MO ou TD, o uso dessas duas plantas pode representar melhorias em outros segmentos, contribuindo, ao final do sistema de produção, para redução na emissão total de gases por unidade animal produzida.

4.5. Conclusão

A inclusão de até 75% de MO ou TD não altera o CMS e não influencia a emissão de CH₄ dos animais, enquanto melhora a digestibilidade da PB das dietas. Portanto, a utilização de SCA com MO ou TD em níveis de até 75% pode ser considerado seguro para alimentação de cordeiros. A inclusão de MO e TD como

ingredientes alternativos na SCA representa uma fonte de proteína alternativa à alimentos tradicionalmente utilizados na produção de ruminantes e tem potencial de utilização para nutrição animal

Referências

ABDEL-RAHEEM, S.M.; HASSAN, E.H. Effects of dietary inclusion of *Moringa oleifera* leaf meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth performance of buffalo calves. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, p. 4430–4436, 2021.

ALI, S.B.A.H. **Growth performance of goats feed *Moringa oleifera* leaf meal incorporates in concentrated mixture**. 2017. Dissertation (M. Sc. in Animal Nutrition) - Maharashtra Animal & Fishery Sciences University - MAFSU, Nagpur, India, 2017.

ASAOLU, V.O.; BINUMOTE, R.T.; AKINLADE, J.A.; OYELAMI, O.S.; KLAPO, K.O. Utilization of *Moringa oleifera* fodder combination with *Leucaena leucocephala* (LEU) and *Gliricidia sepium* (GLI) fodder by West African dwarf goats (WAD). **International of Agricultural Research**, v. 6, n. 8, p. 607-619, 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Arlington: AOAC, 1990. v.1, 1117p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. **Official methods of analysis of Association of official Analytical Chemist**. 16. ed. Washington, DC: AOAC, 1997. 288 p.

BATISTA, L.O.; CARDOSO, A.R. Avaliação nutricional de silagem de cana-de-açúcar ensilada e submetida a diversos aditivos. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária**, v. 5, n. 2, p. 138-145, 2022.

BHOKRE, S.M.; RAJANNA, N.; SARAT CHANDRA, A.; NAGALAKSHMI, D.; RAMANA, D.B.V.; SHASI KUMAR, M. Effect of Inclusion of *Moringa oleifera* Leaf Meal on the Growth Performance, Nutrient Digestibility and Carcass Characteristics of Deccani Lambs. **Asian Journal of Dairy and Food Research**, 2021. Disponível em: <https://arccjournals.com/journal/asian-journal-of-dairy-and-food-research/DR-1686>.

BRODERICK, G.A. Desirable characteristics of forage legumes for improving protein utilization in ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 2760-2773, 1995.

DAMOR, S.V.; PAWAR, M.M.; ANKUYA, K.J.; GAMI, Y.M.; SRIVASTAVA, A.K.; CHAUHAN, H.D.; CHAUDHARY, K.R. Effect of feeding different levels of *Moringa oleifera* leaves on growth performance of Mehsana goat kids. **Significance**, v. 10, n. 18, p. 3190-3193, 2017.

DECANDIA, M.; SITZIA, M.; CABIDDU, A.; KABABYAB, D.; MOLLE, G. The use of polyethylene glycol to reduce the anti-nutritional effects of tannins in goat fed woody species. **Small Ruminant Research**, v. 38, n. 2, p. 157-164, 2000.

DECKER, S.R.F.; FERNANDES, D.A.C.; GOMES, M.C. Gestão competitiva na produção de ovinos. **Revista Agropampa**, v. 1, p. 113-122, 2016.

EISEN, M.B.; BROWN, P.O. Rapid global phaseout of animal agriculture has the potential to stabilize greenhouse gas levels for 30 years and offset 68 percent of CO₂ emissions this century. **PloS Climate**, v. 1, e0000010, 2022.

FADIYIMU, A.A.; ALOKAN, J.A.; FAJEMISIN, A.N. Digestibility, nitrogen balance and haematological profile of West African dwarf sheep fed dietary levels of *Moringa oleifera* as supplement to *Panicum maximum*. **The Journal of American Science**, v. 6, p. 634–643, 2010.

FRUTOS, P.; HERVÁS, G.; GIRÁLDEZ, F.; MANTECÓN, A. Tannins and ruminant nutrition. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 2, p. 191-202, 2004.

GALINDO, J.; GONZÁLEZ, N.; SOSA, A.; RUÍZ, T.; TORRES, V.; ALDANA, A.; DÍAZ, H.; MOREIRA, O.; SARDUY, L.; NODA, Y.A. Efecto de (Hemsl.) Gray (botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, v. 45, p. 33-37, 2011.

GALLEGO-CASTRO, L.A.; MAHECHA-LEDESMA, L.; ANGULO-ARIZALA, J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. **Agronomía Mesoamericana**, v. 28, n. 1, p. 213-222, 2017.

GARCÍA, D.; MEDINA, M.; HUMBRÍA, J.; DOMÍNGUEZ, C.; BALDIZÁN, A.; COVA, L.; SOCA, Y.M. Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, p. 373-384, 2006.

GOMES, J. C. **Análise de alimentos**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 126 p.

GRABBER, J.; ZELLER, W.; MUELLER-HARVEY, I. Acetone enhances the direct analysis of procyanidin and prodelphinidin-based condensed tannins in lotus species by the butanol-HCl-iron assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 11, p. 2669-2678, 2013.

HAN, Y.W.; CATALANO, E.A.; CIEGLER, A. Chemical and physical properties of sugarcane bagasse irradiated with γ rays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 31, n. 1, p. 34-38, 1983.

KHOLIF, A.E.; GOUDA, G.A.; MORSY, T.A.; SALEM, A.Z.M.; LOPEZ, S.; KHOLIF, A.M. *Moringa oleifera* leaf meal as a protein source in lactating goat's diets: feed intake, digestibility, ruminal fermentation, milk yield and composition, and its fatty acids profile. **Small Ruminant Research**, v. 129, p. 129–137, 2015.

KHOLIF, A.E.; MORSY, T.A.; GOUDA, G.A.; ANELE, U.Y.; GALYEAN, M.L. Effect of feeding diets with processed *Moringa oleifera* meal as protein source in lactating Anglo-Nubian goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 217, p. 45–55, 2016.

KHOLIF, A.E.; ELGHANDOUR, M.M.Y.; SALEM, A.Z.; BARBABOSA, A.; MÁRQUEZ, O.; ODONGO, N. The effects of three total mixed rations with different concentrate to maize silage ratios and different levels of microalgae *Chlorella vulgaris* on *in vitro* total gas, methane and carbon dioxide production. **The Journal of Agricultural Science**, v. 155, n. 3, p. 494–507, 2017.

KHOLIF, A.E.; GOUDA, G.A.; GALYEAN, M.L.; ANELE, U.Y.; MORSY, T.A. Extract of *Moringa oleifera* leaves increases milk production and enhances milk fatty acid profile of Nubian goats. **Agroforest Systems**, v. 93, p. 1877–1886, 2019.

KIKELOMO, A. Voluntary feed intake and nutrient utilization of West African Dwarf sheep fed supplements of *Moringa oleifera* and *Gliricidia sepium* fodders. **American Journal of Agriculture and Forestry**, v. 2, n. 3, p. 94-99, 2014.

KU-VERA, J.C.; JIMÉNEZ-OCAMPO, R.; VALENCIA-SALAZAR, S.S.; MONTOYAFLORES, M.D.; MOLINA-BOTERO, I.C.; ARANGO, J.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F.J. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, art. 584, 2020.

LARA, P.E.; CANCHÉ, M.C.; MARRUFO, N.B.; SANGINÉS, J.R. Pastoreo restringido de ovejas pelibuey en bancos de proteína de morera (*Morus alba*). **Pastos y Forrajes**, v. 3, n. 2, p. 267-277, 2007.

LEITANTHEM, V. K.; CHAUDHARY, P.; BHAKAT, M.; MOHINI, M.; MONDAL, G. Impact of *Moringa oleifera* on rumen fermentation and methane emission under *in vitro* condition. **AMB Express**, v. 12, art. 141, 2022.

LEZCANO; SOCA, Y.M.; SÁNCHEZ, L.; OJEDA, F.; OLIVERA, Y.; FONTES, D.; MONTEJO, I.; SANTANA, Y.H. Caracterización cualitativa del contenido de metabolitos secundarios en la fracción comestible de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. **Pastos y Forrajes**, v. 35, p. 283-292, 2012.

LIU, J.X.; YAO, J.; YAN, B.; YU, J.; SHI, Z.Q. Effects of mulberry leaves to replace rapeseed meal on performance of sheep feeding on ammoniated rice straw diet. **Small Ruminant Research**, v. 3, n. 92, p. 131-136, 2001.

MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Nutrients and anti-quality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. **The Journal Agricultural Science**, v. 128, p. 311-332, 1997.

MARTÍNEZ, M.R.; LÓPEZ, O.S.; ORTEGA, M.E.; SORIANO, R.; HERRERA, J.G.; LÓPEZ, J.; ORTEGA, E. Preference, consumption and weight gain of sheep supplemented with multinutritional blocks made with fodder tree leaves. **Livestock Science**, v. 14, n. 91, p. 185-189, 2012.

MCGRATH, J.; DUVAL, S.M.; TAMASSIA, L.F.M.; KINDERMANN, M.; STEMMLER, R.T.; GOUVEA, V.N. de; ACEDO, T.S.; IMMIG, I.; WILLIAMS, S.N.; CELI, P. Nutritional strategies in ruminants: A lifetime approach. **Research in Veterinary Science**, v. 116, p. 28–39, 2018.

MERCHEN, N.R. Digestion, absorption and excretion in ruminants. In: CHURCH, D.C. (ed.) **The ruminant animal: digestive physiology and nutrition**. 2. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988. p. 172-201.

MICHALK, D. L., KEMP, D. R., BADGERY, W. B., WU, J., ZHANG, Y., THOMASSIN, P. J. Sustainability and future food security - A global perspective for livestock production. **Land Degradation & Development**, v. 30, n. 5, p. 561-573, 2018.

MIN, B.; BARRY, T.; ATTWOOD, G.; MCNABB, W. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, p. 3-19, 2003.

MUPANGWA, J.F.; NGONGONI, N.T.; TOPPS, J.H.; HAMUDIKUWANDA, H. Effect of supplementing basal diet of Woris gayana hay with one of three protein rich legume hays of cassia rotunda, *Lablab purpureus* and *Macrophilium atropurpureus* forage on some nutritional parameters in goats. **Tropical animal health and production**, v. 3, n. 24, p. 245-256, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids**. 1. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2007. 384p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of sheep**. 6. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1985. 99 p.

NETO, J.A.S.; OLIVEIRA, V.S.; VALENÇA, R.L. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido – revisão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 14, n. 2, p. 191-200, 2015.

NIDERKORN, V.; COPANI, G.; MARTIN, C.; MAXIN, G.; TORRENT, A.; ANGLARD, F.; ROCHETTE, Y.; GINANE, C. Effects of including bioactive legumes in grass silage on digestion parameters, nitrogen balance and methane emissions in sheep. **Grass and Forage Science**, v. 74, p. 626–635, 2019.

OYEDELE, O.J.; ASAOLU, V.O.; ODEYINKA, S.M. Studied nutrient digestibility and growth performance of West African dwarf (wad) goats fed foliage combinations of *Moringa oleifera* and *Gliricidia sepium* with equal proportions of a low-cost concentrate. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 6, n. 18, p. 20-29, 2016.

PARRA-GARCIA, A.; ELGHANDOUR, M.M.Y.; GREINER, R.; BARBABOSA-PLIEGO, A.; CAMACHO-DIAZ, L.M.; SALEM, A.Z.M. Effects of *Moringa oleifera* leaf extract on ruminal methane and carbon dioxide production and fermentation kinetics in a steer model. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 15333–15344, 2019.

PAZLA, R.; JAMARUN, N.; ZAIN, M.; ARIEF. Microbial Protein synthesis and fermentability of fermented oil palm fronds by phanerochaete chrysosporium in combination with tithonia (*Tithonia diversifolia*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*). **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 462–470, 2018.

PEDREIRA, M.S.; OLIVEIRA, S.G.; BERCHIELLI, T.T.; PRIMAVESI, O. Aspectos relacionados com a emissão de metano de origem ruminal em sistemas de produção de bovinos. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n. 3, p. 24-32, 2005.

RESENDE, K.T. de; SILVA, H.G. de O.; LIMA, L.D. de; TEIXEIRA, I.A.M. de A. Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 161-177, 2008.

RIBEIRO, R.S.; TERRY, S.A.; SACRAMENTO, J.P.; SILVEIRA S.R.; BENTO, C.B.P.; SILVA, E.F.da; Mantovani, H.C.; Gama, M.A.S.da; Pereira, L.G.R.; Tomich, T.R.; Maurício, R.M.; Chaves, A.V. *Tithonia diversifolia* as a Supplementary Feed for Dairy Cows. **PLoS ONE**, v. 11, e0165751, 2016.

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

SCHNEIDER, P.H.; FLATT, W.P. **The evaluation of feeds through digestibility experiment**. Athens, GA: University of Georgia Press, 1975. 423 p.

SERRANO, R.D.C.; VARÓN, R.P.; GIRALDO, A.V. Foliage of tropical arboreal species in feeding ovines (*ovis aries*): intake, digestibility and balance nitrogen. **Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural**, v. 22, n. 1, p. 58-68, 2018.

SILVA, V. L. da; FREITAS, P. V. D. X. de; CAETANO, G. A. de O.; FRANÇA, A. F. de S. Cana energia e produção de silagem como estratégia para alimentação animal. **Veterinária e Zootecnia**, v. 27, p. 1–13, 2020.

SOBY, M.; ALLAM, G.E.; ABOUL-FOTOUH, G.M.; EL-GARHY; OLA GAMAL. Use of moringa leaves (*Moringa oleifera*) in fattening lambs rations. **Egyptian Journal of Nutrition and Feeds**, v. 18, n.2, p. 11-17, 2015.

SULTANA, N.; ALIMON, A.R.; HUQUE, K.S.; BABA, M.; HOSSAIN, J. Evaluation of Moringa foliage (*Moringa oleifera*) as Goat Feed Iranian. **Journal of Applied Animal Science**, v. 5, n. 4, art. 8871, 2015.

TONA, G.O.; OGUNBOSOYE, D.O.; BAKARE, B.A. Growth performance and nutrient digestibility of West African Dwarf goats fed graded levels of *Moringa oleifera* leaf meal. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 3, n. 8, p. 99-106, 2014.

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

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

ZERU, A.E.; HASSEN, A.; APOSTOLIDES, Z.; TJELELE, J. Screening of candidate bioactive secondary plant metabolite ion-features from *Moringa oleifera* accessions associated with high and low enteric methane inhibition from ruminants. **Metabolites**, v. 12, art. 501, 2022.