UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CIÊNCIA DO SOLO

TESE

Dinâmica de N e Emissões de N_2O e CH_4 do Solo sob Pastagem de Capim Estrela e em Sistema Silvipastoril com Leucena para Produção Leiteira

Lucero Sarabia Salgado

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DINÂMICA DE N E EMISSÕES DE N_2O E CH_4 DO SOLO SOB PASTAGEM DE CAPIM ESTRELA E EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM LEUCENA PARA PRODUÇÃO LEITEIRA

LUCERO SARABIA SALGADO

Sob a Orientação do Professor
Bruno José Rodrigues Alves

e Co-orientação do Professor
Robert Michael Boddey

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora,** no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S164d

Salgado, Lucero Sarabia, 1988-
Dinâmica de N e emissões de N_2O e CH_4 do solo sob pastagem de capim estrela e em sistema silvipastoril com leucena para produção leiteira / Lucero Sarabia Salgado. – Seropédica, 2019.
55 f.: il.

Orientador: Bruno José Rodrigues Alves.
Tese (Doutorado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2019.

1. Consumo animal. 2. Qualidade de forragem. 3. Produção de leite. 4. Balanço de Nitrogênio. 5. Emissões de N_2O. I. Alves, Bruno José Rodrigues, 1953-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo III. Título.

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

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

LUCERO SARABIA SALGADO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 21/02/2019.

_____
Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

_____
Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ

_____
Segundo Sacramento Urquiaga Caballero. Dr. Embrapa Agrobiologia

_____
Francisco Javier Solorio Sanchez. Ph.D. UADY

_____
Marcio Dos Reis Martins. Dr. Embrapa Agrobiologia

Aos meus pais Reyna e Moises
e meus irmãos Karen, Hernan e Mauricio

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo, especialmente por permitir a vida e a oportunidade de estudá-la.

Aos meus pais pelo apoio, fé e esperança, que em mim depositaram.

Ao meu orientador, Bruno José Rodrigues Alves, por abraçar e defender a proposta de trabalho, mesmo sem a certeza de sucesso. Por confiar no meu trabalho, por ter sido como um pai e amigo em todas as horas.

Ao meu co-orientador Robert Boddey, por aceitar apoiar a ideia e pela essencial contribuição para o desenvolvimento da pesquisa. Sem o seu conhecimento consolidado, não seria possível.

Aos pesquisadores doutores da Embrapa, Segundo Sacramento Urquiaga e Claudia Jantalia, por serem sempre solícitos.

Ao Dr. Francisco J. Solorio pela amizade e por sempre apoiar em todo momento o desenvolvimento da tese, e por ter sido como um pai em todas as horas.

Aos meus amigos de pós-graduação, da Rural, de alojamento, de Embrapa, de Km 47 que trouxeram alegria, , risos, ensinamentos e amizade na minha estância no Brasil.

Aos meus amigos da casa de vegetação, do terraço e manutenção que trouxeram alegria e risos.

Aos grupos de Ciclagem de Nutrientes, que deram suporte para o desenvolvimento desta tese.

Aos analistas, técnicos do laboratório e parceiros de campo e todos aqueles que estiveram sempre à disposição para ajudar.

Aos funcionários da secretaria do PPGA-CS, Marquinhos, Michele e Wagner pela atenção e gentileza.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de ser, mesmo que por pouco tempo, uma “ruralina”. Ao PPGA-CS, pelo acolhimento.

À Embrapa Agrobiologia, especialmente, que cedeu espaço, pessoal e os mestres que orientaram esta pesquisa.

E a CAPES pela concessão da bolsa.

E, finalmente, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a execução e finalização deste trabalho, muito obrigada!

BIOGRAFIA

Lucero Sarabia Salgado, filha de Moises Sarabia Robles e Reyna Salgado Mendoza, nasceu em 3 de abril de 1988 na cidade de Altamirano, Estado de Guerrero, México. Graduou-se em Biologia pelo Instituto Tecnológico de Cd. Altamirano em 2010. Durante a graduação foi bolsista de SEP/DGETA. Concluiu o curso de Mestrado em Ciências Agropecuárias na Universidade Autônoma de Yucatán (UADY) em 2013, especializando-se em técnicas para estudo da fixação biológica e transferência de N_2 em sistemas silvipastoris, especialmente aquelas baseadas no uso de isótopos estáveis. Em 2013 realizou um treinamento em nível de Mestrado na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa/Agrobiologia, RJ, Brasil), na quantificação da fixação biológica de N_2 derivado de leguminosas. Em 2014 realizou treinamento para quantificação de gases de efeito estufa (N_2O e CH_4) derivados de dejeto bovino em solo. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agroecologia, atuando principalmente nos seguintes temas: gases de efeito estufa, fixação biológica de nitrogênio e dinâmica de N sistemas agropecuários.

RESUMO

SALGADO, L. S. **Dinâmica de N e emissões de N_2O e CH_4 do solo sob pastagem de capim estrela e em sistema silvipastoril com leucena para produção leiteira. 2019.** 55f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Na região sudeste do México a pecuária convencional é conduzida sob pastagem exclusiva de gramíneas, sendo as espécies mais comuns as nativas ou as africanas, com a produção de biomassa sendo limitada pela sazonalidade da chuva e baixa fertilidade do solo. Em sistemas de produção animal, a degradação da pastagem está frequentemente associada ao esgotamento de N do solo, sendo necessária a reposição do nutriente. Para o estabelecimento de pastagens mais produtivas nessas áreas, sistemas silvipastoris (SPS) têm sido recomendados, especialmente com uso de leguminosas arbóreas, porém são ainda pouco estudados acerca do impacto sobre o ciclo do nitrogênio. Assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar as mudanças nos fluxos de N no sistema solo/planta/animal e nas emissões de gases de efeito estufa pela utilização de um SPS, formado com leguminosas (*Leucaena leucocephala*) e pasto de capim estrela (*Cynodon nlemfuensis*), tendo como referência a pastagem em monocultura de *C. nlemfuensis* (SM). A oferta de forragem foi quantificada nos dois sistemas assim como o teor de proteína bruta (PB). A fixação biológica de nitrogênio (FBN) para leucena foi quantificada utilizando-se a técnica da abundância natural de ^{15}N. Durante o período experimental (casa sete dias), a massa seca de liteira existente foi quantificada por meio da coleta de três amostras por piquete. A constante de decomposição da liteira, ou de mineralização do N, também foi estimada. A produção fecal foi estimada com o uso do indicador de óxido de cromo, coletando-se as fezes por seis dias após período de adaptação. A produção de urina foi quantificada pela técnica de creatinina simultaneamente com a produção fecal. A quantificação das emissões de CH_4 e N_2O do solo foi feita após deposição das excretas bovinas dentro de uma área de pastagem de capim-estrela utilizando-se câmaras estáticas fechadas. As excretas utilizadas foram coletadas de animais mantidos na área de capim-estrela e de animais da área do sistema silvipastoril com leucena, e aplicados frescos nas parcelas para avaliar os fluxos de gases de efeito estufa (N_2O e CH_4). A produção média de leite para as duas épocas do ano foi semelhante nos dois sistemas, com 7,1 e 6,3 kg por UA (1 UA = 450 kg peso vivo) dia^{-1} para SM e SPS, respectivamente. O consumo médio de N pelos animais nas duas épocas foi de 171,9 e 215,7 g N por UA dia^{-1} para SM e SPS, respectivamente, destacando a importância da leguminosa no suprimento de proteína para os animais. O N depositado nos excrementos animais (138, 1 e 184,9 g N por UA dia^{-1} para SM e SPS, respectivamente) foi maior nas fezes do que na urina. Os fluxos de N_2O mostraram-se maiores no SM, com picos de 1623, 9 e 755,9 ug $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} para SM e SPS, respectivamente, sendo originados do tratamento urina. Os maiores fatores de emissão direta (FE) de N_2O foram observados na época de chuvas, quando a desnitrificação é favorecida, sendo de 0,05 e 0,01% para o tratamento de fezes, e 0,52 e 0,17% para o tratamento de urina, em SM e SPS, respectivamente. Concluiu-se que a presença da leguminosa em SPS permite manter a produção de leite observada no SM fertilizado com N, porém com menor intensidade de emissão de N_2O, contribuindo para a sustentabilidade na produção pecuária.

Palavras-chave: Consumo animal. Qualidade de forragem. Produção de leite. Balanço de Nitrogênio. Emissões de N_2O.

ABSTRACT

SALGADO, L. S. **N dynamics and N_2O and CH_4 emissions of soil under star grass pasture and silvopastoral system with leucaena for dairy production 2019.** 55p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2019.

In the southeast region of Mexico, conventional livestock is the most common monoculture system, where the main species are native grasses or African grasses, with the biomass production being limited by rainfall seasonality and low soil fertility. In animal production systems, pasture degradation is associated with N depletion of soil, requiring nutrient replacement. For the establishment of more productive pastures in these areas, silvopastoral systems (SPS) have been recommended, especially with the use of tree legumes, but are still little studied about the impact on the nitrogen cycle. Thus, the objective of this work was to quantify N fluxes in the soil / plant / animal system as a means of comparing the sustainability of an SPS with legumes (*Leucaena leucocephala*) and grass stargrass (*Cynodon nlemfuensis*) with monoculture pastures with the same grass (SM). Forage yield quantified from the total grass and legume biomass in silvopastoral system and grass pasture monoculture. Crude protein was performed as the AOAC protocol. Biological nitrogen fixation (FBN) for leucena was quantified using the ^{15}N natural abundance technique. During the experimental period, the litterfall was quantified by collecting three samples per picket. The litter decomposition and N mineralization constant was estimated. Feces production was estimated using the chromium oxide indicator. The collected feces were subsequently dried, and a composed samples from the six days of collection were sent to the laboratory to determine the concentration of chromium oxide using atomic absorption spectroscopy. The urine production was evaluated by creatinine technique. Quantification of soil CH_4 and N_2O emissions was evaluated after deposition of bovine dung and urine in a star grass pasture soils. The dung used was collected from animals kept in the area of stargrass and animals from the area of the silvopastoral system with leucena, and applied in fresh to the plots (one chamber per patch). Livestock were excluded from grazing the experimental area. The average milk yield for the two seasons was similar in both systems, with 7.1 and 6.3 kg per UA (1 UA = 450 kg live weight) day^{-1} for SM and SPS, respectively. The mean N intake by the animals in the two seasons was 171.9 and 215.7 g N per UA day^{-1} for SM and SPS, respectively, highlighting the importance of the legume in the supply of protein to the animals. The N deposited in the animal faeces (138, 1 and 184.9 g N per UA day-1 for SM and SPS, respectively) was higher in faeces than in urine. N_2O fluxes were higher in SM, with peaks of 1623, 9 and 755.9 ug N-N_2O m^{-2} h^{-1} for SM and SPS, respectively, originating from the urine treatment. The highest direct emission factors (FE) of N_2O were observed in the rainy season, when denitrification was favored, being 0.05 and 0.01% for feces treatment, and 0.52 and 0.17% for the treatment of urine, in SM and SPS, respectively. In the dry season, FE was lower. It is concluded that the presence of legume in SPS allows to maintain the milk production observed in SM, fertilized with N, but with lower intensity of N_2O emission, contributing to the sustainability in livestock production.

Keywords: Animal intake. Forage quality. Milk production. Nitrogen Balance. N_2O Emissions.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 8. Localização geográfica da área experimental, Yucatán, México.....8

Figura 9. Temperaturas máximas e mínimas, e chuvas ocorridas na época das águas (A) e na época das secas (B), na área experimental em Mérida, Yucatán, México.....15

Figura 10. Oferta pré-pastejo, e resíduo pós-pastejo, de forragem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05). 16

Figura 11. Quantidade de N na forragem em oferta da pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05). 17

Figura 12. (a) Valores de liteira depositada (LD); (b) liteira existente (LE); (c) N depositado; e (d) N existente de pastagem de capim-estrela (Monocultura) e do sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.....20

Figura 13. Consumo (kg MS ha^{-1}) da pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México, estimado pela técnica do óxido de cromo. Não houve diferenças entre os tratamentos.....22

Figura 14. Produção de leite (kg U.A. dia^{-1}) por vacas em pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05). 23

Figura 15. Precipitação (mm), temperatura média do ar (ºC) e fluxos de N_2O (µg N-N_2O m^{-2} h^{-1}) e de CH_4 (µg C- CH_4 m^{-2} h^{-1}) originados de solo sob pastagem de capim-estrela tratada com excretas originadas de animais que se encontravam em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), durante o monitoramento das épocas de chuvas e de secas em Mérida, Yucatán, México. 29

Figura 16. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema monocultura de capim estrela pastejada na época de chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.....32

Figura 17. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema silvipastoril de Leucena em consorcio com capim-estrela pastejado na época das chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.....33

Figura 18. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema monocultura de capim-estrela pastejado na época de secas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$. 34

Figura 19. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema silvipastoril de Leucena em consorcio com capim-estrela pastejado na época das chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$. 34

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental. 8

Tabela 3. Teores de PB (%) nas espécies forrageiras de pastagem de capim-estrela (Monocultura) e do sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. 17

Tabela 4. Valores de 15N da leucena e da planta testemunha e quantificação do % de FBN e N-FBN nas duas épocas do ano. 18

Tabela 5. Medias totais de MS para LE e LD (em 7 dias), e estimativas de decomposição da liteira, indicada pela constante "k", e liberação de N para o solo para pastagem de capim-estrela (SM) e para o sistema silvipastoril (SPS), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. 21

Tabela 6. Proporção de leucena na dieta, e produção de urina e fezes de vacas mantidas em pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. 25

Tabela 7. Consumo e excreções de N por vacas presentes em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. 26

Tabela 8. Fatores de emissão de N_2O e CH_4, provenientes de excretas de bovinos originadas de animais que se encontravam em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e de secas em Mérida, Yucatán, México..30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO DE LITERATURA 3
2.1. O Aquecimento Global e a Pecuária 3
2.2. O Dióxido de Carbono (CO_2) 3
2.3. O Metano (CH_4) 4
2.4. O Óxido Nitroso (N_2O) 4
2.5. Volatilização de Amônia 5
2.6. Integrando Árvores e Arbustos na Produção de Sistemas Pecuários 6
2.7. Ciclagem de Nutrientes 6
3. MATERIAL E MÉTODOS 8
3.1. Localização e Caracterização da Área Experimental 8
3.2. Oferta de Forragem 9
3.3. Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio na Leucena 9
3.4. Produção de Liteira e Reciclagem de N 10
3.5. Quantificação da Produção Urinária e Fecal 11
3.6. Avaliação da Influência da Dieta na Produção Leiteira 11
3.7. Avaliação de Consumo de Forragem e Conteúdo de N e a Proporção da Leguminosa na Forragem Consumida 11
3.8. Quantificação das Emissões de CH_4 e N_2O do Solo Após Deposição de Dejetos Bovinos 12
3.8.1. Variáveis de solo e clima associadas às emissões de N_2O 13
3.8.2. Quantificação da emissão de N_2O e CH_4 13
3.9. Fatores de Emissão 14
3.10. Análises Estatísticas 14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 15
4.1. Clima Durante as Épocas de Monitoramento, e a Forragem Disponível na Monocultura de Capim-Estrela e Sistema Silvipastoril com Leucena 15
4.2. Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio na Leucena 18
4.3. Deposição de Liteira e Liberação de N para o Solo 19
4.4. Avaliação de Consumo de Forragem e Conteúdo de N, e a Proporção da Leguminosa na Forragem Consumida 21
4.5. Avaliação da Influência da Dieta na Produção Leiteira 23
4.6. Quantificação da Produção Urinária e Fecal e o Balanço de Nitrogênio 25
4.7. Emissões de Óxido Nitroso e Metano Provenientes de Urina e Fezes Bovinas 28
4.8. Fatores de Emissão 30
4.9. Fluxos de N em Sistemas de Pastagem (Monocultura e Silvipastoril) 31
5. CONCLUSÕES 36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção bovina são muito variáveis quanto ao manejo, apresentando diferentes níveis de intensidade de uso da pastagem. No México e no Brasil, como na maioria dos países tropicais, a bovinocultura é predominantemente extensiva, com baixa lotação animal e em geral pouco produtiva. Esses dois países passam por limitações semelhantes na pecuária bovina, existindo potencial para compartilhar conhecimentos e avançar com novas tecnologias.

No Brasil a área total de pastagens nativas e cultivadas aproxima-se de 160 milhões de ha, e abriga um rebanho estimado em 214 milhões de cabeças (IBGE, 2019). Nesse cenário que persiste há décadas, as estimativas de carga animal são inferiores a 1 U.A. ha^{-1} (1 Unidade Animal = 450 kg peso vivo), embora com sinais de melhoria (MARTHA JR. et al., 2012). No México, a área sob pastejo está entre 80 e 120 milhões de ha, mas o rebanho é de 31,9 milhões de cabeças (INEGI, 2019), resultando em uma carga animal média bem menor do que no Brasil.

É comum para ambos os países a pastagem de baixa qualidade, no Brasil caracterizada por um amplo domínio de espécies de braquiária (*Urochloa* spp.), com mais de 30 % em processo de degradação (PEREIRA et al., 2018), decorrente de técnicas inadequadas de manejo. No México, as áreas de pastejo compreendem áreas plantadas, especialmente com *Panicum* spp. e *Cynodon* spp., e nativas, sendo a última de diversificada natureza, com campos naturais, podendo conter arbustos e árvores (GUEVARA & LIRA-NORIEGA, 2004). Devido à perda de vigor das pastagens plantadas e à baixa capacidade de suporte das pastagens nativas, os produtores são muitas vezes obrigados a introduzir outras fontes de alimento, o que eleva os custos de produção. Alternativamente, podem procurar novas áreas para expansão do cultivo da pastagem, o que caracteriza uma das causas do desmatamento, problema que implica em perda de biodiversidade e emissão dos gases de efeito estufa (GEE).

A degradação das pastagens está associada ao ciclo de N no sistema de produção. Dependendo do manejo adotado, o sistema solo-planta-animal passa a funcionar com um balanço negativo de N (perdas de N > entrada) provocado pela ineficiente reciclagem de N pelas excretas bovinas, e isso faz com que a produção da pastagem reduza com o tempo e entre em degradação (BODDEY et al., 2004). O manejo da fertilização nitrogenada (OLIVEIRA et al., 2001) e a introdução de leguminosas na forma de consórcio para contribuir com N via fixação biológica de N_2 (FBN) são possibilidades para evitar o processo de degradação (JANTALIA et al., 2006). Assim, a oferta de pastagem de melhor qualidade permite criar mais animais em menor área, e com o aumento da produtividade de carne e leite, reduzem-se as emissões de CH_4 por unidade de produto (CROSSON et al., 2011). Além disso, pastagens produtivas permitem maior acumulação de C no solo, contribuindo para mitigar ainda mais as emissões de GEE (BRAZ et al., 2013). Por outro lado, o aumento das quantidades de N que circulam no sistema pode aumentar as emissões de N_2O (ALVES et al., 2012) e, em termos teóricos, diminuir ou até neutralizar os ganhos conseguidos com a redução dos outros gases (CARDOSO et al., 2016). O uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos é de eficiência limitada, pois em termos médios globais somente 50 % do N aplicado é utilizado pelas plantas, sendo o restante imobilizado no solo e/ou perdido para a atmosfera (BALASUBRAMANIAN et al., 2004). Quanto ao impacto para o efeito estufa, a fertilização nitrogenada com 100 kg N ha^{-1} pode resultar em emissões próximas de 1 Mg CO_2eq ha^{-1} decorrentes da energia fóssil requerida para síntese de amônia, processamento e transporte (ROBERTSON & GRACE, 2004), e emissões de N_2O diretas e indiretas após contato com o solo (IPCC, 2006). Por outro lado, utilizando-se leguminosas, a energia para fixar N_2 biologicamente

vem da fotossíntese, promovendo mitigação de emissões de GEE (ALVES et al., 2016). Embora não sejam bem conhecidos os efeitos na produção de N_2O do solo para sistemas forrageiros consorciados.

A utilização de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) em sistema de aleias nas pastagens é uma prática que vem se difundindo no México como forma de oferecer pasto de melhor qualidade a um custo menor, especialmente para produção leiteira (RIVERA-HERRERA et al., 2017). No Brasil, a utilização de leucena é mais limitada, porém alguns estudos também confirmam seu potencial para sistemas leiteiros, tal como no semiárido (FERREIRA et al., 2009). Esta espécie de leguminosa é de alta palatabilidade e pode acumular grandes quantidades de N fixado biologicamente, algo entre 100 e 300 kg N ha^{-1} ano^{-1} (BOHLOOL et al., 1992), mas o conteúdo de taninos nas folhas pode limitar o aproveitamento do N pelo gado (RIVERA-HERRERA et al., 2017). A presença da leucena pode estimular o consumo voluntário dos animais pela maior ingestão de proteínas, porém a digestibilidade e o aproveitamento de N dependem da concomitante ingestão de fontes energéticas. A presença de taninos também pode modificar a digestibilidade, e os complexos proteicos formados no rúmen podem resultar em maior alocação do N para as fezes (Longo et al., 2008). Por outro lado, a menor excreção de N pela urina reduz o potencial de perda de N por volatilização de amônia e emissões de N_2O (LESSA et al., 2014), conservando o nutriente no sistema. Assim, embora exista um grande potencial produtivo e ambiental nos sistemas de produção que utilizam leguminosas, tal como especulado por Jenzen et al. (2012), ainda é necessário que se aprofundem estudos para consolidar os benefícios dessa prática tendo em conta a diversidade de espécies e sistemas de manejo possíveis.

Dessa forma, as hipóteses propostas para a tese foram: 1. A utilização de leucena como leguminosa forrageira em sistema silvipastoril com capim-estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) proporciona alimento de melhor qualidade para vacas leiteiras e contribui para aumentar a produtividade do sistema, em comparação com a monocultura de capim-estrela adubada com fertilizante nitrogenado; 2. A presença de leucena em sistema silvipastoril permite reciclar mais N pela liteira, promovendo maior oferta de capim-estrela, em comparação à pastagem fertilizada; e 3. A dieta dos bovinos contendo leucena modifica a distribuição do N excretado entre urina e fezes bovinas, em comparação ao pasto adubado com nitrogênio, implicando em diferentes padrões de emissão de N_2O e CH_4.

Os objetivos da presente tese, realizada em sistema silvipastoril de leucena com capim-estrela e em monocultura de capim-estrela, durante o verão e inverno de Mérida, Yucatán, México, foram: 1. Quantificar a oferta de forragem, e também a produção de leite em cada sistema; 2. Quantificar a reciclagem de N pela produção e decomposição de liteira; 3. Quantificar a contribuição da FBN para a leguminosa e para as pastagens; 4. Quantificar o consumo, a produção fecal e a produção de urina, e os respectivos conteúdos de N; e 5. Estimar as emissões de óxido nitroso e metano derivado da deposição de urina e fezes sobre solo com pastagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Aquecimento Global e a Pecuária

O aquecimento global é o resultado da acumulação de gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente pela ação antrópica no meio-ambiente. O volume de gases de efeito estufa emitido durante os últimos 50 anos de industrialização supera a capacidade de captura da biosfera e o resultado líquido é o aumento constante das concentrações desses gases, que dificultam a emissão de energia para o espaço exterior e intensificam o processo natural do efeito estufa (IPCC, 2007).

O aquecimento global é o condicionante mais evidente para as alterações climáticas e refere-se ao aumento médio das temperaturas do planeta. As consequentes mudanças nas correntes de ar e marítimas fazem com o clima se altere, com ocorrência de eventos extremos cada vez mais frequentes.

É preciso destacar que a pecuária é a atividade humana que mais influi na alteração do clima depois do setor energético por meio das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (HERRERO et al., 2013). A pecuária, segundo FAO (2013), fornece 18% do total de gases emitidos à atmosfera. Além disso, os ruminantes contribuem para o aquecimento global e deterioração da camada de ozônio, pois liberam grandes quantidades de gases para a atmosfera, originados no rúmen (CH_4) e por meio da deposição de fezes e urina (N_2O, NH_3 e o CH_4). Os bovinos ao ingerir alimento (capim) não aproveitam toda energia, sendo parte dela (~6%) convertida em CH_4 por bactérias presentes no rúmen. Após a digestão, ocorrem perdas de CH_4 das fezes e de N_2O pela excreção de N nas fezes e urina, dependendo do conteúdo de proteína na dieta.

No Brasil, as emissões de óxido nitroso provenientes de dejetos bovinos no solo variam, sobretudo devido à época do ano (chuvas e seca) (LESSA et al., 2014). Adicionalmente para a estimativa de perdas de nitrogênio por meio da volatilização de amônio (NH_3) e lixiviação se utilizam fatores de 20 e 30%. Por meio destas perdas de N se calculam parte das emissões indiretas de N_2O (IPCC, 2006). Por outro lado, por meio da eructação dos bovinos existem perdas de CH_4, as quais se estimam em 600 L CH_4 animal^{-1} dia^{-1} (considerando 500 kg de peso vivo animal^{-1}) (IPCC, 2006). A produção de metano em ruminantes normalmente representa 5,5-6,5% da energia bruta consumida na dieta (FAO, 2013). Quando a alimentação é baseada em forragem de baixa qualidade, a perda de CH_4 pode representar entre 15 e 18% da energia digestível (IPCC, 2006). As poáceas (antigas gramíneas), normalmente são de baixa qualidade nutricional, pois nestas há elevada concentração de material lignocelulósico com baixa digestibilidade e níveis baixos de outros nutrientes, como proteína bruta, que geram fermentação pouco eficiente e maior quantidade de CH_4 em comparação com pastagens de clima temperado. Cerca de 98% do total de CH_4 produzido pode ser eliminado no arroto dos animais (IPCC, 2006). Essas emissões de GEE de bovinos têm peso elevado nas emissões de GEE antrópicas. Algumas estimativas indicam que a pecuária produz 65% das emissões de óxido de nitroso (N_2O), 9% das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e 37% das emissões de gás metano (CH_4) em termos globais (IPCC, 2007).

2.2. O Dióxido de Carbono (CO_2)

Dentre os gases causadores do efeito estufa o dióxido de carbono (CO_2) destaca-se como um dos principais em função dos grandes volumes emitidos para a atmosfera. A quantidade de CO_2 tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido a fatores antrópicos como o uso de combustíveis fósseis. Não obstante, emissões decorrentes do uso e mudança de uso

do solo também têm grande papel no aumento das concentrações atmosféricas deste gás. O desmatamento é uma das principais fontes de GEE, porém, a perda de C do solo em função de manejo inadequado contribui com emissões e também representa perda de fertilidade. Devido as amplas áreas ocupadas com pastagens, a sua degradação contribui significativamente para o aumento de CO_2 na atmosfera, sobretudo em países de clima tropical, onde a mineralização da matéria orgânica ocorre de maneira rápida (CASANOVA et al., 2014).

2.3. O Metano (CH_4)

O CH_4 tem potencial de aquecimento 25 vezes maior do que o CO_2, com tempo de meia-vida igual a 12 anos e sua concentração na atmosfera vem aumentando gradualmente (IPCC, 2007). Por ser um gás com alto potencial de efeito-estufa com consequências ambientais, grande preocupação existe em relação as fontes antrópicas (CHANDRAMONI et al., 2000). O metano produzido resulta de diversas atividades, no Brasil, o setor de Agropecuária é o maior responsável pelas emissões de CH_4, principalmente dos processos de fermentação dos alimentos que compõem a dieta. O principal fator biótico do rúmem na produção de metano são as bactérias anaeróbicas metanogênicas (MCCAUGHEY et al., 1999; MONTENEGRO et al., 2000). O metabolismo anaeróbico de hidratos de carbono no rúmen dos bovinos produz anualmente no mundo 80 milhões de toneladas de CH_4 (IPCC, 2007; THORNTON E HERRERO, 2010). A emissão de CH_4 ruminal depende da quantidade, características físicas e químicas, do tipo de carboidratos presentes na dieta, além das taxas de fermentação e de passagem do bolo alimentar. A fermentação da celulose e hemicelulose presentes nas forrageiras produzem elevada relação entre acetato e propionato e aumenta a produção de metano em comparação às dietas com elevada proporção de grãos (> 50%), que tendem a reduzir os protozoários do rúmen, o pH, a proporção de Ac:Pr e diminuir metano ruminal por unidade de alimento consumido (MOSS et al., 2000; HESS et al., 2002; GURIAN-SHERMAN, 2011). O aumento da taxa de passagem pode diminuir a produção de CH_4, pois mais de 50% da digestão da matéria orgânica ocorre no rúmen (MOSS et al., 2000). Contudo uma das vias mais importantes para a emissão de metano pelos bovinos é por meio da eructação, que inicia aproximadamente na quarta semana de vida, quando os alimentos sólidos consumidos começam a ser retidos no retículo-rúmem aumentando assim, a fermentação e produção de gases à medida em que o rúmem se desenvolve e com isso contribui com a emissão.

Apesar da grande importância das emissões entéricas, as fezes frescas de bovinos também devem ser contabilizadas. As bactérias e *Archaeas* presentes no rúmen são excretadas nas fezes e seguem transformando parte do C em CH_4 no ambiente anaeróbico existente enquanto as fezes estão frescas. De acordo com o IPCC (2006), segundo o Tier 1 da guia metodológica, cada bovino emite 2 kg CH_4 ao ano pela deposição de fezes bovinas na pastagem. Este número é uma média global e pode ser maior em função da dieta (GILL et al. 2011) e outros fatores ligados ao animal, a pastagem e ao ambiente (solo-clima) (MAZZETO et al., 2014).

2.4. O Óxido Nitroso (N_2O)

O óxido nitroso é outro gás de efeito estufa, que atualmente é responsável por 6 a 9% do aquecimento global (IPCC, 2007; DALAL et al., 2003). As atividades do setor agropecuário aportam 16% das emissões globais de N_2O (DALAL et al., 2003). A concentração atmosférica de N_2O está aumentando à taxa de 0,22% ano^{-1} e seu potencial de aquecimento global é 310 vezes maior que do CO_2 e, além disso se considera que é responsável pela destruição da camada de ozônio

da estratosfera (BHATIA et al., 2004). Do total emitido pela biosfera 70% é produzido no solo pelos processos de nitrificação e desnitrificação (FIRESTONE E DAVIDSON, 1989; ROCHETTE, 2004), sendo a desnitrificação o principal processo de produção deste gás (BERGSTROM et al., 2001).

Alguns dos fatores que controlam a produção de N_2O no solo são a umidade, temperatura e disponibilidade de nitrogênio (CHEN et al., 2007). Apesar do grande número de pesquisas realizadas nas últimas décadas sobre produção de N_2O e os fatores que controlam sua emissão na atmosfera e nos solos, pode-se somente predizer o destino de parte do N que é aplicado ou depositado no solo sob condições específicas (MOSIER et al., 2004).

Na pecuária um dos resíduos mais importantes que contribuem para a emissão desse gás é a urina de gado como mencionado anteriormente, uma vez que fornece grandes quantidades de nitrogênio ao solo (CARTER, 2007; SAGGAR et al., 2004) e pode exceder a capacidade de uso pela pastagem quando depositadas pelos animais e, portanto havendo aumento de concentração de N na solução do solo (WACHENDORF et al., 2008).

2.5. Volatilização de Amônia

A perda de nitrogênio por volatilização de amônia ocorre principalmente pela baixa eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados em sistemas de produção agrícolas e pecuários, especialmente quando se aplica uréia (HARRISON E WEBB, 2001). Grande parte do nitrogênio aplicado por fertilizantes não é aproveitado pelas plantas, e em alguns casos, mais de 50% deste é perdido por volatilização como NH_3 (WERNECK, 2008). Estas perdas estão associadas principalmente a vários fatores como nas emissões de N_2O, umidade, temperatura, fontes de N, tipo de solo e pH (HARRISON E WEBB, 2001), além de práticas inadequadas na aplicação. Estimativas das emissões de NH_3 constituem importante ferramenta para determinar os fluxos de N do solo ao ar (SOMMER et al., 2004) e também para controlar as emissões à atmosfera provenientes de atividades pecuárias (REIDY et al., 2007).

Atualmente uma das fontes de maior importância de perdas de N são os dejetos animais (fezes e urina) pela volatilização de amônia, que diminui o potencial que este tem de retornar ao solo grande quantidade do N retirado com o consumo da forragem. As perdas de NH_3 são mais acentuadas após serem depositados no solo, e as condições edafoclimáticas tem importância na magnitude das perdas que irão ocorrer (ALVES et al., 2006).

A amônia é uma forma muito reativa do N e tem implicações ambientais muito graves, sendo muito relevante conhecer como os sistemas de produção modificam os padrões de perda (SOMMER E HUTCHINGS, 2001). Uma das possibilidades é a conversão do amônio originado da amônia depositada no solo em nitrato. Havendo limitação de oxigênio, a desnitrificação ocorre, e perdas significativas de N_2O podem ocorrer em local diferente daquele onde a deposição de excretas ocorreu, o que é convencionalmente chamado de emissão indireta de N_2O (IPCC, 2006).

2.6. Integrando Árvores e Arbustos na Produção de Sistemas Pecuários

Nas últimas décadas, a degradação dos recursos ocorreu em ritmo acelerado, as selvas e florestas foram as mais expostas e vulneráveis a essa degradação. Além disso, os solos e as paisagens pecuárias estão se degradando rapidamente (CASTRO-NUNEZ 2021). Os sistemas de produção pecuária fornecem diversas fontes de subsistência, reforçando sua capacidade não apenas de garantir a segurança alimentar, mas também de aumentar a resiliência às mudanças climáticas. Aumentar a produção de carne e leite terá um aumento econômico para os produtores. No entanto, sob os atuais sistemas de produção pecuária extensiva caracterizados por sua vulnerabilidade com baixa rentabilidade, pouca integração com os recursos naturais e seu grande impacto ambiental, eles continuam a predominar nas regiões pecuárias do mundo.

Atualmente, essa vulnerabilidade dos sistemas pecuários é agravada pela pandemia causada pelo COVID-19 (FAO, ECLAC, 2020). Os custos da alimentação aumentaram, a venda de animais ou de carne e leite tornou-se difícil, resultando na diminuição da renda familiar e no desaparecimento de milhares de pequenos produtores (FAO, 2020). Nesse sentido, é urgente transformar os sistemas pecuários convencionais em uma pecuária mais inclusiva e gerenciada de forma inteligente. Que os esforços sejam direcionados para a geração de agroecossistemas pecuários ambientalmente e economicamente resilientes com o uso eficiente dos recursos naturais.

Embora há vários anos existam diferentes alternativas para transformar a pecuária convencional, os sistemas agrossilvipastoris parecem ser uma das melhores opções (FAO, 2018). Esses sistemas baseiam-se em princípios agroecológicos para projetar sistemas que integrem a produção animal, com espécies arbóreas e arbustivas em altas densidades e em diferentes arranjos topológicos associados a pastagens que permitem restaurar paisagens pecuárias degradadas para aumentar a produção, a qualidade da forragem, reduzir as emissões de GEE, (BROOM et al., 2013).

Árvores e arbustos contribuem para manter agroecossistemas diversificados, melhorar o teor de carbono orgânico do solo (COS), melhorar as condições microclimáticas dos agroecossistemas e melhorar a ciclagem de nutrientes.

Um aspecto extremamente importante das árvores e arbustos na pecuária está relacionado à mitigação de GEE. Em geral, pecuária integrada em espécies lenhosas, ruminantes são suplementadas com espécies que possuem taninos condensados, saponinas, óleos essenciais, ácidos graxos insaturados que mitigam a emissão de metano entérico por espécies animais ruminantes em até 20% aproximadamente. Além disso, diferentes espécies de leguminosas arbóreas têm potencial para reduzir as emissões de metano (KU-VERA et al., 2020). Ao associar leguminosas com gramíneas, melhora-se a disponibilidade, aumenta-se o consumo, digestibilidade, teor de proteína contribuindo naturalmente para reduzir as emissões de metano entérico produzidas durante a fermentação ruminal (GERBER et al., 2013). Em relação a outras oportunidades globais de redução de gases de efeito estufa, a redução do metano entérico por meio do aumento da produtividade é a opção de menor custo e tem benefício econômico direto para os agricultores (FAO, HLPE, 2019).

2.7. Ciclagem de Nutrientes

Segundo DUBEUX JR. et al., 2007, a ciclagem de nutrientes em pastagens pode ser definida como o fluxo de nutrientes entre os distintos componentes que existem nele. No entanto, este processo é realizado por fatores bióticos e abióticos. Existem diferentes sistemas de pastagens, por exemplo; sistemas em monocultivo (degradados ou adubados) e em consorcio, estes últimos estão compostos de diversas espécies poáceas e fabáceas (leguminosas) perenes e anuais, que de forma

integral produzem quantidades consideráveis de biomassa de excelente qualidade. Quando se incorporam ao solo em forma de serrapilheira podem integrar quantidades importantes de nutrientes e de matéria orgânica (M.O.). Além das espécies leguminosas poderem incorporar quantidades significativas de nitrogênio atmosférico (N) ao solo, é possível que possam transferi-lo às poáceas às quais estão associadas, aumentando a oferta de proteína para enriquecer a dieta dos animais.

Nos sistemas de consórcio com espécies arbóreas/arbustivas, como a leucena, as árvores e os animais permitem que uma fração representativa dos nutrientes que são extraídos do solo seja retornada mediante a deposição e decomposição da M.O (CADISH AND GILLER, 1997) na superfície do solo, originada da forragem em função de pastejo ou podas, e mediante a excreção de fezes e urina. A maior presença de matéria orgânica no solo e o microclima (umidade e temperatura) criado pela presença das árvores são favoráveis à atividade biológica da micro e macrofauna, que aceleram a fragmentação dos resíduos, resultando em maior mineralização e disponibilidade de N no solo (MAFONGOYA et al. 1997). Além disso, a proteção permanente do solo reduz a erosão e lixiviação de certos minerais e nutrientes do solo, ajudando a mitigar a emissão de dióxido de carbono pela maior conservação do solo, e também a aumentar a qualidade das forragens pela maior oferta de nutrientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido entre maio de 2017 e março de 2018, na Estação Experimental de Leiteria do campus de Ciências Agrárias e Biológicas da Universidade Autônoma de Yucatán, Xmatkuil, Mérida, Yucatán (21°15'N, 83°32'W; altitude 10 m), México (Figura 8). O clima da região é quente e úmido com chuvas no verão. As médias anuais de temperatura e precipitação são de, respectivamente, 25,8°C e 983,8 mm (GARCÍA, 1973). Os solos de Yucatán são de origem calcária, altamente permeáveis e pouco profundos com grande quantidade de rochas, sendo classificados como Leptossolos Rênzicos (BAUTISTA & PALACIOS, 2005), que se aproxima a Neossolos Litolicos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos- SiBCS. Na Tabela 2 são mostradas as características físicas e químicas do solo onde foi feito o experimento.

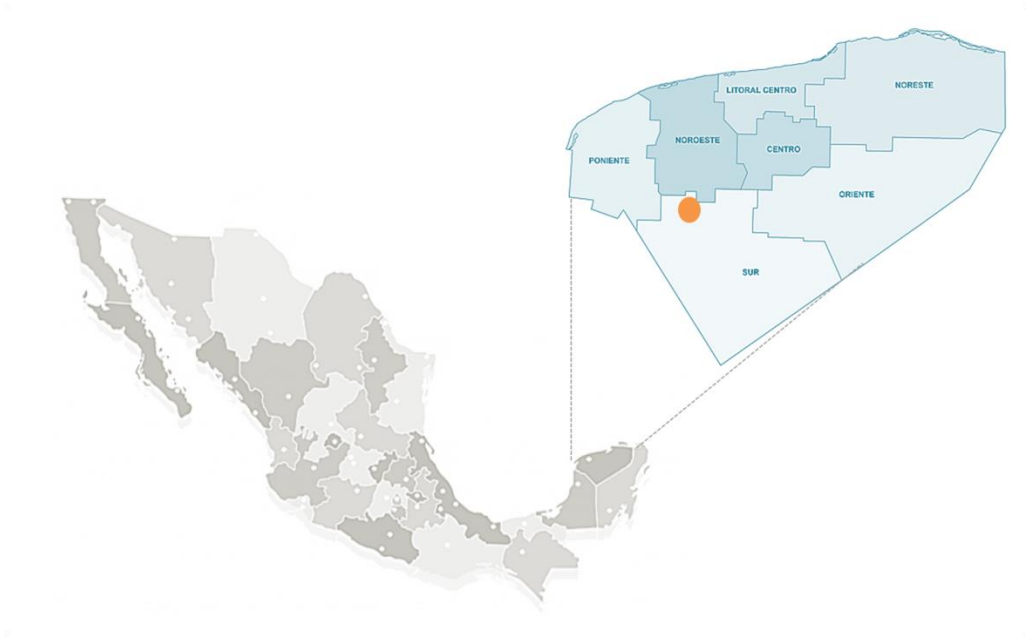

Figura 1. Localização geográfica da área experimental, Yucatán, México.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental.

Bloco	Conteúdo de pedras %		pH	N	C	P	K	Ca	Mg
	Solo	Pedras		%		mg/kg			
I	22	78	7,8	0,89	6,4	28	530	872	352
II	40	60	7,8	0,98	5,0	45	565	824	328
III	21	79	7,9	0,99	7,2	81	457	1077	310
IV	19	79	7,9	0,96	6,1	111	517	1573	388
Média	**26**	**74**	**7,8**	**0,95**	**6,2**	**66**	**517**	**1086**	**345**

Duas áreas justapostas de pastagens de capim-estrela (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) cv. Tifton 85, em monocultura e em consórcio com leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) cv. Cunniham (estabelecida no ano 2014) foram subdivididas em piquetes de 0,14 ha, sendo manejadas num sistema de pastejo rotacionado com três dias de ocupação e 27 dias de descanso no

verão, enquanto que no inverno foram três dias de ocupação e 39 dias de descanso. Antes da divisão dos piquetes, a área total do talhão da fazenda, na qual se incluíam os dois tipos de pastagens, era ocupada por 30 vacas com pesos entre 350 e 600 kg ha^{-1}, mantidas em sistema contínuo.

A monocultura de capim-estrela foi fertilizada com 100 kg N ha^{-1}, na forma de ureia, dois meses antes do início das avaliações, e o sistema silvipastoril não recebeu fertilização nitrogenada.

Em cada uma das duas áreas de pastagens, foram utilizadas seis vacas mestiças de gado holandês com pardo-suíço, com peso vivo médio de 506 ±11 kg, e em período de lactação, ou uma carga animal média de 4,8 UA ha^{-1} na estação de chuvas e de 3,4 UA ha^{-1} na estação seca. Nas duas condições de pastagens, cada vaca foi suplementada diariamente com 3 kg de concentrado (base seca) composto por 63% de grãos de sorgo, 27% de cascas de grãos de soja, 8% de farelo de soja, 1% cálcio e 1% de sais minerais, totalizando 14 % de proteína bruta e digestibilidade de 80% na mistura final.

Durante o período de 20 de maio a 20 de agosto de 2017, representando o verão na região, ou estação de chuvas, e de 20 de novembro de 2017 a 20 de fevereiro de 2018, ou período de inverno, ou estação seca, foram realizadas amostragens para avaliar a produção de leite, contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a leucena, a reciclagem de N via liteira e excretas bovinas, e as emissões diretas de CH_4 e N_2O do solo.

3.2. Oferta de Forragem

A oferta de forragem foi quantificada imediatamente antes dos animais entrarem no piquete, e novamente três dias depois, após a saída dos animais. No primeiro caso, a massa encontrada foi a oferta, e três dias depois, o resíduo. No sistema de consórcio, três amostras foram retiradas ao acaso demarcando-se uma área útil de 1,5 x 2,0 m. Quantificou-se a biomassa total do capim e da leguminosa. Na pastagem pura de capim-estrela, seis amostras foram retiradas aleatoriamente usando molduras retangulares de 0,5 x 0,5 m.

As amostras foram pesadas e secas em estufa com circulação de ar a 60 ºC por 72 horas e pesadas novamente, seguindo o protocolo AOAC (1990). O teor de proteína bruta (PB) foi quantificado por análise de N em um analisador elementar CN-2000 LECO 3740.

3.3. Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio na Leucena

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) para leucena foi quantificada utilizando-se a técnica da abundância natural de ^{15}N (UNKOVICH et al., 2008). Nas parcelas consorciadas, foram coletadas amostras das folhas e ramos, com diâmetro inferior a 5 mm, de 15 plantas de leucena por piquete, e também 20 plantas de capim-estrela e de plantas espontâneas não leguminosas, que serviram como referência da abundância natural de ^{15}N do N disponível do solo. As amostras foram secas em estufa a 65 °C até atingirem peso constante, e posteriormente moídas em moinho tipo Wiley (peneira de 2 mm). Em seguida, foram submetidas a uma segunda moagem, com o intuito de se obter um material com menor granulometria, e mais homogêneo, utilizando-se um sistema similar ao utilizado por Arnold & Schepers (2004). As amostras foram pesadas e acondicionadas em cápsulas de estanho, e foram analisadas no espectrômetro de massa (Thermo Scientific Mod. Delta V Advantage, acoplado a um analisador elementar CN Thermo Scientific, Flash 2000) no laboratório John Day na Embrapa Agrobiologia.

A porcentagem de N na leucena derivada da FBN (%N-FBN) foi estimada pela fórmula descrita por Shearer e Kohl (1986):

$$\%N - FBN = [(\delta^{15}Nc - \delta^{15}Na)/(\delta^{15}Nc - B)] \times 100$$

Onde, $\delta^{15}Nc$ e $\delta^{15}Na$ correspondem aos valores de abundância natural de ^{15}N da planta controle e da leucena, respectivamente. O valor *B* representa um fator de correção, devido a discriminação isotópica de ^{15}N pelo processo de FBN, tendo sido considerado como -0,34 deltas (BODDEY et al., 2000).

3.4. Produção de Liteira e Reciclagem de N

Durante o período experimental, a massa seca de liteira (aqui entendida como a palha desprendida da planta) existente foi quantificada por meio da coleta de três amostras por piquete antes da entrada dos animais, utilizando molduras retangulares de 0,5 x 0,5 m. As amostras foram colocadas em sacos de papel identificados, pesadas e secas em estufa com circulação de ar a 60º C por 72 horas e pesadas novamente. O local da coleta foi identificado com estacas, e após sete dias, foram feitas novas amostragens nos mesmos três pontos para quantificar a deposição de liteira. Assumiu-se que a liteira depositada não sofreu decomposição ao longo dos sete dias (XAVIER et al., 2014). No mesmo dia da coleta de liteira depositada, três novas amostras foram retiradas de um segundo piquete, antes da entrada dos animais, para quantificar a liteira existente após sete dias da primeira coleta, e que também representava a liteira existente para o ciclo de coleta seguinte (BRUCE e EBERSOHN, 1982).

A constante de decomposição da liteira, ou de mineralização do N, foi estimada pela equação descrita em Xavier et al. (2014):

$$k = [ln(LE_0 + LD_{t1}) - ln(LE_{t1})]/t$$

Em que *k* é a constante de decomposição da liteira (g g^{-1} dia^{-1}), ou de mineralização do N, que representa a fração decomposta ou mineralizada da matéria seca (MS), ou do N da MS, que permanece após 1 dia; LE_0 e LD_{t1} são, respectivamente, a MS, ou N, na liteira existente no primeiro dia e na liteira depositada após 7 dias; e LE_{t1} é a MS, ou N, na liteira existente após 7 dias.

Na liteira existente e na liteira depositada, foram determinadas as proporções de C derivadas de plantas C3 (leguminosa) e plantas C4 (gramíneas) utilizando a técnica da abundância natural de ^{13}C utilizando um analisador elementar CN Costech acoplado a um espectrômetro de massas Finnigan Delta V, existente no laboratório de isótopos estáveis "John Day" da Embrapa Agrobiologia (CANTARUTTI et al, 2002).

Com os dados de N total de todas as amostras de liteira depositada e existente foi calculada a constante de mineralização do N.

3.5. Quantificação da Produção Urinária e Fecal

A produção fecal foi estimada com o uso do indicador de óxido de cromo (MYERS et al., 2004). O indicador foi ministrado por 16 dias (10 gd) segundo MACEDO et al. (2010) sendo 10 dias de adaptação e seis de coleta de fezes. As fezes coletadas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas, moídas e, posteriormente, juntadas em uma amostra composta dos seis dias de coleta e encaminhada ao laboratório para determinação da concentração de óxido de cromo nas fezes, utilizando espectroscopia de absorção atômica. Assume-se que após o período de adaptação, a quantidade de marcador ministrada diariamente é igual à quantidade excretada diariamente. Logo, a produção fecal (*PF*), em gramas, é calculada pela fórmula:

$$PF = \left(M_f / M_m\right) \times 10$$

Sendo Mf e Mm, respectivamente, as massas de fezes secas e de marcador na amostra, e 10, a massa de marcador administrada diariamente.

As amostras também foram analisadas para o conteúdo total de N, e para abundância de ^{13}C para determinar a proporção do C nas fezes derivado da leguminosa segundo a fórmula:

$$\%Leg = [(^{13}Cf - {}^{13}Cg)/(^{13}Cl - {}^{13}Cg)] \times 100$$

Sendo $^{13}C_f$, $^{13}C_g$ e $^{13}C_l$, respectivamente, a abundância natural de ^{13}C das fezes, da gramínea e da leguminosa.

A produção de urina foi avaliada simultaneamente com a produção fecal. Para isso, foi necessário estimar o volume urinário e a concentração de N na urina, utilizando-se a coleta de urina "spot" (CHIZZOTTI et al. 2008). Brevemente, às oito da manhã, coletava-se de cada animal aproximadamente 100 mL de urina, misturada em seguida a 6 mL de ácido sulfúrico 20 % para estabilizar o meio. No volume de urina coletado de cada animal, foi determinada a concentração de nitrogênio pelo método Kjeldhal, e de creatinina por método colorimétrico, assumindo-se para o cálculo do volume urinário uma excreção total de 27 mg de creatinina animal^{-1} dia^{-1}. O N excretado via urina foi obtido pela multiplicação do volume urinário pela concentração de N na urina.

3.6. Avaliação da Influência da Dieta na Produção Leiteira

A produção de leite de cada animal foi pesada diariamente, obtida das ordenha pelas manhãs durante o tempo do experimento. Durante os dias de avaliação, de cada vaca foi realizada uma amostragem de 100 ml do leite produzido. Depois das coletas, as amostras foram analisadas com um analisador de leite (LACTOSCAN MCC) para a determinação de proteína (N).

3.7. Avaliação de Consumo de Forragem e Conteúdo de N e a Proporção da Leguminosa na Forragem Consumida

A avaliação do consumo de forragem pelos animais foi realizada com base na diferença de forragem antes da entrada dos animais nos piquetes e ao final do pastejo, na saída dos animais.

O consumo foi dado pela fórmula:

$$C = (Q1 - Q2)/(no.de\ animais \times dias\ de\ pastejo)$$

Onde Q1 = quantidade de forragem anterior ao pastejo; Q2 = quantidade de forragem após a retirada dos animais.

Para a estimativa do N consumido pelos animais, amostras de forragem foram retiradas para quantificar o teor de N pelo método Kjeldahl (ALVES et al, 1994). Para fins de validação, o consumo também foi estimado com base na digestibilidade da forragem e produção fecal conforme a equação:

$$Consumo = \text{Produção Fecal}/(1 - \text{digestibilidade})$$

A produção fecal foi quantificada com a técnica de marcador externo de óxido de Cromo. Para avaliar a composição da forragem consumida foram feitas amostragens das plantas simulando o pastejo dos animais, em cada período avaliado (ZANINETTI et al., 2010). Dois avaliadores observaram o comportamento dos animais em pastejo, por aproximadamente 15 minutos. Em seguida, cada um coletou uma amostra representativa da ingestão dos animais. No tratamento consorciado com leucena, foram coletadas amostras separadas de capim e leguminosa. Após a coleta as amostras foram identificadas, levadas ao laboratório e separadas em colmo e folhas. Na sequência, as diferentes frações foram pesadas e secas em estufa com circulação de ar a 60ºC por 72 horas e pesadas novamente. Depois de separadas as frações, as amostras compostas das amostras simples de cada avaliador foram processadas em moinho do tipo Wiley, com peneira de malha de 1 mm. Foram determinados o conteúdo total de nitrogênio pelo método Kjeldahl (ALVES et al., 1994) e a digestibilidade *in vitro* do material consumido (VAN SOEST et al., 1991).

A proporção da leguminosa na forragem ingerida foi determinada a partir dos resultados de abundância de ^{13}C das fezes e da digestibilidade do capim e da leucena, conforme descrito por MACEDO et al. (2010). O consumo do N foi estimado baseado nas análises de N total das amostras compostas de capim e de leguminosa obtidas do pastejo simulado.

3.8. Quantificação das Emissões de CH_4 e N_2O do Solo Após Deposição de Dejetos Bovinos

Micro-parcelas de 1,5 x 1,5 m foram delimitadas dentro de uma área reservada de pastagem de capim-estrela, próxima dos piquetes da área experimental principal, em um desenho em blocos completos casualizados. O estudo consistiu em um fator, denominado excreta, e foi composto de cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram: controle, sem excreta (T1); urina de bovinos mantidos na monocultura de capim-estrela (T2); esterco de bovinos mantidos na monocultura de capim-estrela (T3); urina de bovinos mantidos no sistema silvipastoril (T4); e esterco de bovino mantidos no sistema silvipastoril (T5). As excretas utilizadas foram coletadas de animais mantidos na área de capim-estrela e de animais da área do sistema silvipastoril com leucena, e aplicados frescos nas parcelas para avaliar os fluxos de gases de efeito estufa (N_2O e CH_4).

O monitoramento dos fluxos de gases foi realizado ao longo de três meses para a época de chuvas e de três meses para a época de secas.

3.8.1. Variáveis de solo e clima associadas às emissões de N_2O

A precipitação ocorrida ao longo do período experimental e a temperatura do ar foram monitoradas por uma estação meteorológica presente na Estação Experimental de Leiteria. A temperatura do solo foi monitorada em cada amostragem utilizando-se termômetro digital do tipo sonda.

3.8.2. Quantificação da emissão de N_2O e CH_4

A quantificação dos fluxos de N_2O e CH_4 do solo foram realizadas utilizando-se câmaras estáticas fechadas, as quais foram posicionadas nas respectivas parcelas para posterior avaliação dos tratamentos. As câmaras estáticas foram constituídas de uma base de metal retangular, com 40 x 60 cm, no formato de uma caixa vazada, sendo as paredes inseridas no solo à 15 cm de profundidade. A parte da base exposta à superfície do solo possui uma calha, na qual uma tampa se encaixa. A tampa tem as mesmas dimensões da base, porém com paredes com 15 cm de altura. As bases, após inseridas no solo, permaneceram até o término do monitoramento dos gases, evitando assim a perturbação frequente do solo. A tampa, no formato de uma caixa sem fundo, somente era acoplada à base nos momentos de amostragem dos gases. Cada tampa foi revestida com espuma e manta adesiva com superfície refletiva para reduzir o efeito do sol sobre a temperatura interna da câmara, quando fechada. Uma válvula de três vias foi colocada na parte central do topo da câmara para permitir a retirada dos gases no momento da amostragem. As câmaras foram fechadas por 60 minutos, sendo coletadas amostras a cada 20 minutos, a partir do encaixe da tampa à base. As amostragens dos gases foram realizadas utilizando-se seringas plásticas de 60 mL. Após a coleta das amostras, um volume de 30 mL da seringa era transferido para frascos de cromatografia de 20 mL, lacrados com septos de borracha butírica, e evacuados imediatamente antes da transferência, utilizando-se uma bomba de vácuo elétrica. Para a transferência, os frascos eram evacuados à ~100 kPa, e após a transferência de 30 mL do gás, os frascos apresentavam pressão positiva, sendo armazenados de ponta-cabeça em água.

As amostragens foram realizadas sempre pelo horário da manhã (entre 8 e 10 horas), quando existe maior probabilidade do fluxo medido representar o fluxo médio diário (DAVIDSON et al., 2002; ALVES et al., 2012a). As amostragens foram realizadas diariamente, durante 7 dias seguidos, após a aplicação dos tratamentos, passando-se a uma frequência de uma a duas vezes por semana, ou mesmo em intervalos maiores nos períodos muito secos. Em cada dia de coleta foi realizada a medição da temperatura do ar, da câmara e do solo para eventuais correções no momento dos cálculos dos fluxos.

Para a quantificação dos fluxos de N_2O, misturas-padrão de N_2O e CH_4 foram analisadas para calcular a curva analítica que relaciona área dos picos cromatográficos e concentração do gás. As análises foram realizadas no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes da Embrapa Agrobiologia utilizando um cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 2014) equipado com uma coluna de "Porapak Q" e um detector de captura de elétrons (ECD), para análise de N_2O, além de um detector de ionização de chama (FID) para análise de CH_4. Os fluxos de cada gás (N_2O e CH_4) foram calculados pela equação:

$$f = (\Delta C/\Delta t) \times (M/Vm) \times (V/A)$$

Onde, f é o fluxo do gás, ΔC/Δt é a variação da concentração do gás no tempo; M é o peso molecular do gás e Vm é o volume molecular na temperatura de amostragem; e V e A são, respectivamente, o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara.

Após o cálculo dos fluxos, foram estimadas as emissões para o período de monitoramento adotado no experimento, utilizando-se a técnica de integração numérica de Newton-Coates pelo método dos retângulos.

3.9. Fatores de Emissão

As emissões totais de N_2O e CH_4, integradas no período de monitoramento, foram computadas para as áreas com excretas (*Ee*) e para a área controle, sem excretas (*Ec*). Para os tratamentos com excretas, foram debitadas as emissões da área controle. O total líquido de cada tratamento foi dividido pelo total de N ou C presente nas respectivas excretas (*Qe*), para o cálculo do fator de emissão (FE):

$$FE = (Ee - Ec)/Qe$$

3.10. Análises Estatísticas

As variáveis medidas no ensaio comparativo de sistemas de pastagens em piquetes rotacionados foram analisadas por modelo linear misto. Foram consideradas como de efeito fixo as variáveis categóricas "sistema de pastagem" (monocultura e silvipastoril) e "época do ano" (chuvas e secas). Os piquetes dentro de cada sistema de manejo, considerados como pseudo-repetições, entraram no modelo como efeito aleatório, tendo em conta que a falta de casualização das repetições viola a premissa fundamental da independência espacial. O modelo linear misto foi processado utilizando-se o pacote *lem4* do software R para análise de variâncias. Os resíduos provenientes do modelo misto foram validados pela verificação de normalidade dos erros pelo teste Shapiro-Wilk, e a homocedasticidade foi acessada pelo teste de Bartlett. A separação de médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O ensaio para quantificar emissões de N_2O e CH_4 de excretas foi submetido a ANOVA, respeitando-se os pressupostos da distribuição normal, e as médias separadas com base na diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As variáveis monitoradas tiveram os resultados exibidos com média e erro padrão da média.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Clima Durante as Épocas de Monitoramento, e a Forragem Disponível na Monocultura de Capim-Estrela e Sistema Silvipastoril com Leucena

Do início de maio até final de agosto de 2017, observou-se uma precipitação acumulada de 403 mm, com chuvas relativamente bem distribuídas, com a média das temperaturas máximas e mínimas diárias de 35,7 e 22,7 ºC, respectivamente (Figura 9A). No período de novembro de 2017 a março de 2018, o volume de chuvas foi de somente 75 mm, com média das temperaturas máximas de 30,5 ºC e das mínimas de 18,7 ºC (Figura 9B).

(A) (B)

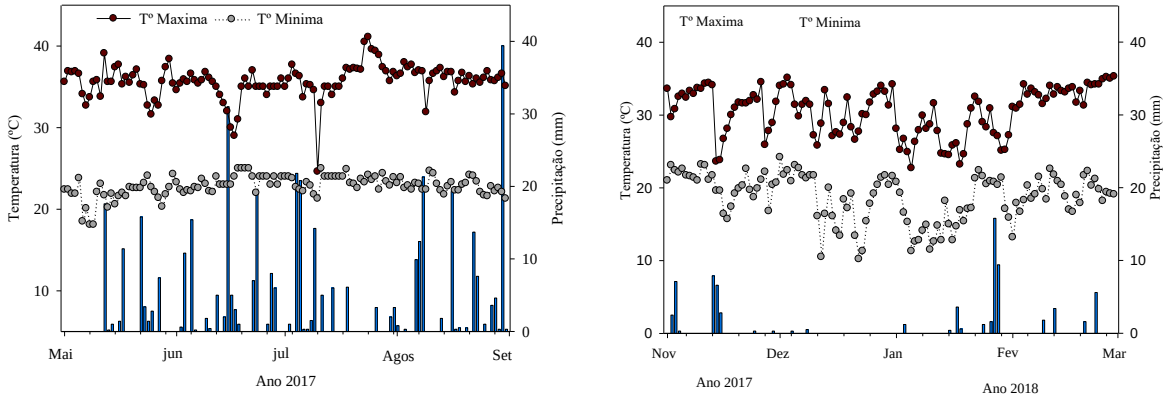

Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas, e chuvas ocorridas na época das águas (A) e na época das secas (B), na área experimental em Mérida, Yucatán, México.

As condições observadas no meio do ano de 2017 retratam bem o clima de verão da região, com chuvas mais frequentes e temperaturas mais altas, aqui considerado como época das chuvas. No período seguinte, as chuvas de pequena intensidade e pouco frequentes caracterizam o que aqui foi chamado de período das secas, e que também compreende temperaturas um pouco mais baixas, com mínimas abaixo dos 20 ºC em vários dos dias.

Durante a época das chuvas, as pastagens sofrem poucas limitações para crescimento e mostram-se mais exuberantes. A oferta média de forragem na monocultura de capim-estrela durante esta época foi de aproximadamente 3,1 Mg ha^{-1} de massa seca, ou algo próximo de 10 Mg ha^{-1} de forragem fresca, enquanto que no sistema silvipastoril, foi pouco acima de 2 Mg MS ha^{-1} (Figura 10). Na estação seca, a oferta média de forragem na monocultura reduziu para 2,1 Mg MS ha^{-1}, e no sistema silvipastoril, para 1,2 kg MS ha^{-1}, evidenciando possíveis efeitos causados pelo estresse hídrico. Por outro lado, a diferença de oferta de forragem entre os dois sistemas, que existia desde o início do experimento, remete ao fato de que a resposta da pastagem à presença de árvores é determinada pelas condições agroecológicas locais, e responde de modo diferenciado em função da densidade, distribuição dos componentes, espécies utilizadas e manejo do componente arbóreo (MURGUEITIO et al 2011).

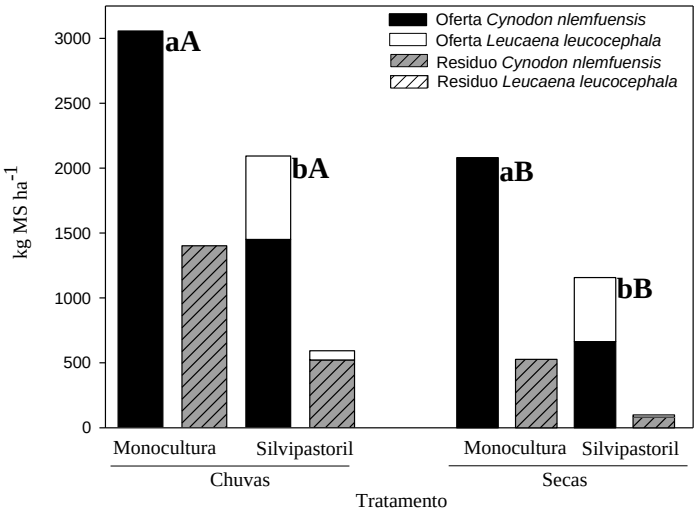

Figura 3. Oferta pré-pastejo, e resíduo pós-pastejo, de forragem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05).

Após o período de pastejo de três dias, a forragem remanescente, ou resíduo, indicou consumos aparentes de matéria seca semelhantes entre os dois tipos de pastagem no período das chuvas, o que se justifica, em parte, por ter se utilizado a mesma carga animal para ambas as pastagens. Na estação seca, no entanto, a diferença de oferta e resíduo de forragem indicou maior consumo na monocultura. Enfatiza-se que a diferença de oferta e resíduo é apenas uma indicação de consumo, pois o resultado pode ser mascarado pelo pisoteio dos animais e também pela variabilidade espacial.

No sistema silvipastoril, a proporção de leucena na oferta foi de 30,7 e 42,6% na época de chuvas e secas, respectivamente. Na Figura 8, verifica-se que o consumo aparente de leucena foi proporcionalmente maior do que o de capim-estrela, tanto na época das chuvas quanto das secas, um indicativo da alta palatabilidade da forrageira, e de sua relevância para a intensificação pecuária por meio de sistemas silvipastoris (BACAB-PÉREZ et al., 2011).

Apesar da menor oferta de forragem no sistema silvipastoril, a presença da leucena elevou sobremaneira a disponibilidade de N na oferta de forragem, sendo significativamente maior no sistema silvipastoril na época das chuvas, e similar à monocultura de capim nas secas (Figura 11).

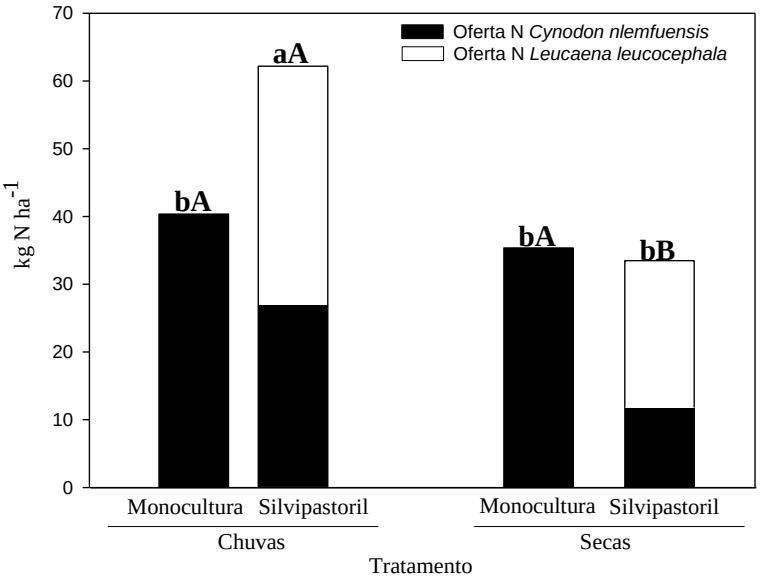

Figura 4. Quantidade de N na forragem em oferta da pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05).

Em termos de proteína bruta (PB), a leucena apresentou praticamente duas a três vezes os conteúdos encontrados no capim-estrela (Tabela 3), sendo, respectivamente para a época das águas e das secas, de 25,0 e 22,5%. Estes conteúdos de PB estão dentro da faixa de 10 a 30%, com um valor médio de 22 %, obtida de 65 estudos realizados no sul do México e América Central, que avaliaram folhas + caules de leucena utilizadas na produção animal (GARCIA et al., 1996).

Tabela 1. Teores de PB (%) nas espécies forrageiras de pastagem de capim-estrela (Monocultura) e do sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.

Forrageiras	**Chuvas**	**Secas**
	PB (%)	
Leucaena leucocephala	25,0 ± 1,4	22,5 ± 0,6
Cynodon nlemfuensis (Silvipastoril)	11,5 ± 2,0 A	13,4 ± 2,8 A
Cynodon nlemfuensis (Monocultura)	8,2 ± 0,5 B	10,5 ± 2,4 A

Letras maiúsculas diferentes na coluna indicam médias significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p=0,05).

O capim-estrela em monocultura apresentou teores de PB de 8,2 e 10,5% para o período das chuvas e das secas, respectivamente. No sistema silvipastoril, o teor de PB do capim na época das chuvas foi significativamente maior do que o do mesmo capim na monocultura, porém sem diferenças no período das secas. Cabe mencionar, que o N disponível para o sistema em monocultura foi originado do fertilizante aplicado dois meses antes do início do experimento, além

das reservas existentes no solo. De fato, a maior oferta de forragem no sistema em monocultura indica que a fertilização foi relevante para a produtividade do sistema. Por outro lado, os resíduos de leguminosa depositando-se e decompondo-se continuamente sobre o solo, poderiam estar fornecendo N de forma mais eficiente para o capim em consórcio (CANTARUTTI et al., 2002), o que explicaria as diferenças no conteúdo de PB observadas em relação ao capim em monocultura.

A existência de transferência de N da leucena para o capim consorciado no sistema silvipastoril foi evidenciada por SARABIA (2013), que verificou significativa diluição de ^{15}N na biomassa de *Panicum maximum*, em um sistema silvipastoril com leucena.

4.2. Quantificação da Fixação Biológica de Nitrogênio na Leucena

Os valores de $\delta\ ^{15}N$ para leucena e para a testemunha apresentaram diferença significativa ($P \leq 0.05$) para as épocas do ano (Tabela 4). Valores de 6,74 e 3,82 deltas foram encontrados para leucena, e de 13,6 e 6,41 para a testemunha, na época de chuvas e secas, respectivamente. Com relação a dependência pela FBN, estimou-se que esse processo contribuiu com 49,5 e 38,5 % do N da leucena para a época de chuvas e secas, respectivamente. A quantidade mensal de N derivado da FBN, em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$, apresentaram diferenças significativas entre a época do ano (14,4 e 10,8 ha^{-1} $mês^{-1}$, para chuvas e secas, respectivamente.). Esses valores tem relação com a produção de forragem, sendo que a quantidade de N proveniente da FBN foi maior nas chuvas em comparação com a época da secas.

Tabela 2. Valores de 15N da leucena e da planta testemunha e quantificação do % de FBN e N-FBN nas duas épocas do ano.

Época	Delta 15N L Leucocephala	Delta 15N Testemunha	% FBN	N-FBN (kg N ha^{-1} $mês^{-1}$)
Chuvas	6,74a	13,6a	49,5a	14,7a
Secas	3,82b	6,4b	38,5b	10,8b

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam médias significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p=0,05).

Os resultados obtidos neste estudo com relação a quantidade de N fixada (kg N ha^{-1} $mês^{-1}$) indicam a capacidade de leucena de fixar quantidades importante de N, as quais alcançaram 232,9 kg N ha^{-1} ano^{-1}. Isso tem sido amplamente demonstrado em uma variedade de experimentos, com uma faixa de estimativas de FBN de 0 a 285 kg N ha^{-1} ano^{-1} (LIYANAGE et al., 1994; JAYASUNDARA et al., 1997; CAMACARO et al., 2004; SOLORIO, 2005), para campos plantados em altas densidades. A FBN que ocorre no sistema silvipastoril pode contribuir positivamente para os lucros dos produtores agrícolas e manter pastagens produtivas que atualmente exigem a aplicação anual de fertilizantes nitrogenados de 140-200 kg ha^{-1} ano^{-1}, podendo-se incluir até 325 kg N ha^{-1} ano^{-1} ano para o cultivo de milho para alimentação animal (GONZÁLEZ-TORRES et al., 2009). Nesse sentido, a quantidade de N incorporada ao sistema encontrado neste estudo contribui com 49,5% para a demanda de N por pastagens nos trópicos na época das chuvas. Também pode ter consequências econômicas positivas para os produtores e ajudá-los a evitar os custos associados à aplicação anual de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados nos sistemas de gado baseados em pastagens de monocultura.

Além disso, o uso de leguminosas pode enriquecer a dieta animal, aumentar a fertilidade do solo e também produzir efeitos ambientais positivos. Como mencionado anteriormente, o uso de leguminosas como a leucaena ajuda a reduzir a poluição do lençol freático devido à lixiviação de

nitratos e nitritos causados pelo uso excessivo de fertilizantes químicos e também ajuda a reduzir a emissão de N_2O para o meio ambiente.

4.3. Deposição de Liteira e Liberação de N para o Solo

As quantidades dos resíduos senescidos em cada sistema de pastagem, aqui chamado de liteira depositada (LD), foram avaliadas juntamente com as quantidades existentes no solo, chamadas de Liteira Existente (LE). Com essas quantidades foi possível calcular a decomposição da liteira e a liberação de N para o solo (XAVIER et al., 2015).

A deposição de liteira tendeu a ser maior no sistema silvipastoril nas primeiras coletas durante o período de chuvas (Figura 12A), o que resultou em maiores estoques de LE em comparação ao sistema em monocultura (Figura 12B). A LE não variou muito ao longo do tempo no sistema em monocultura, indicando haver um certo equilíbrio entre a deposição e decomposição de liteira, tal como observado por REZENDE et al. (1999) e XAVIER et al (2015), ou seja, nessas condições a taxa de deposição é praticamente igual a taxa de decomposição. Esse estado estacionário é esperado, pois se fosse diferente, a LE aumentaria indefinidamente, no caso da deposição superar a decomposição, o que não se observa em qualquer que seja o ambiente. No sistema silvipastoril, esse estado estacionário parece ocorrer num passo anual, pois nas chuvas notou-se uma redução da LE com o tempo, e nas secas o processo reverso parece estar presente, ou seja, a LE estaria oscilando em torno de uma média anual, mas aumentando nas secas e reduzindo na época das chuvas. A diferença entre os sistemas deveria estar relacionada com a presença da leucena. No entanto, na época de chuvas, a presença de tecidos senescentes de leucena não foi detectada em LE ou LD, utilizando-se a técnica de ^{13}C, havendo predomínio absoluto de material do capim. A análise da LE do tratamento monocultura apresentou uma média de -17,3‰ (± 1,1‰) para chuvas e -15,3‰ (± 0,6‰) para as secas, indicando ser o sinal isotópico da liteira de capim. Para o tratamento silvipastoril, a abundância de ^{13}C variou de -16,4‰ (± 0,9‰) para chuvas e -22,5‰ (± 0,5‰) nas secas. Sendo uma planta de ciclo fotossintético C4, a assinatura isotópica do ^{13}C para o capim-estrela deve se aproximar de -12 ‰, enquanto que as plantas C3, como a leucena, possuem maior discriminação em relação ao ^{13}C, e se aproximam de -27‰ (SMITH & EPSTEIN, 1971). Como não se observaram outras plantas espontâneas na monocultura de capim-estrela, é provável que se trate de uma Poácea com $\delta^{13}C$ um pouco menor, porém dentro da faixa esperada para espécies C4 (SMITH & EPSTEIN, 1971). No sistema silvipastoril, na época das águas, a liteira apresentou um valor $\delta^{13}C$ similar ao da monocultura, confirmando que a leucena não produziu liteira em quantidade significativa, ao contrário do período das secas, evidenciado pelo valor mais negativo de $\delta^{13}C$. Por ser uma leguminosa de alta palatabilidade, a ausência de liteira pode ter sido fruto do consumo de folhas e ramos tenros pelo gado.

Na época das secas, a leucena entrou em estágio reprodutivo e passou a contribuir para a produção de liteira, aumentando sua participação em LD e nos estoques de LE (Figura 12 A e B).

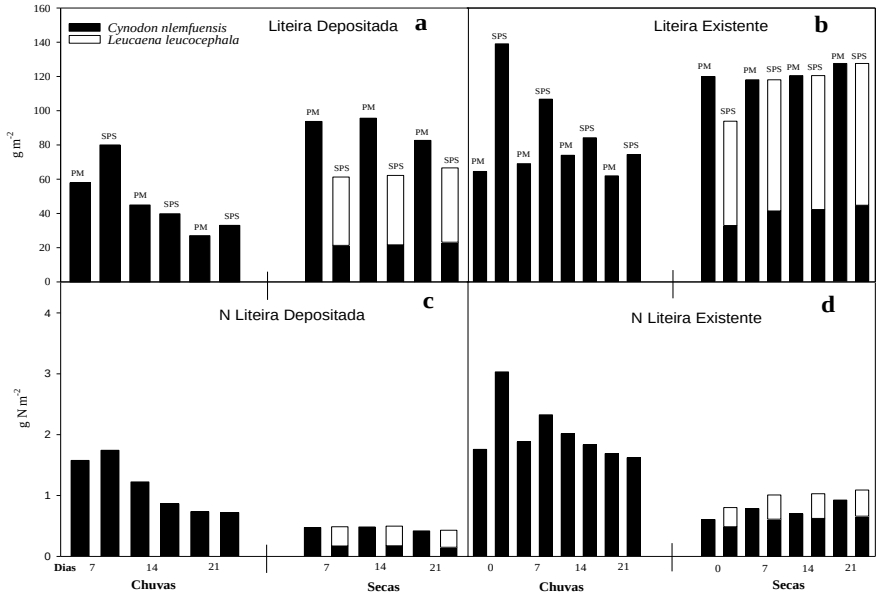

Figura 5. (**a**) Valores de liteira depositada (LD); (**b**) liteira existente (LE); (**c**) N depositado; e (**d**) N existente de pastagem de capim-estrela (Monocultura) e do sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.

As quantidades de N em LD (Figura 12C) e LE (Figura 12D) seguiram praticamente o mesmo comportamento observado para a matéria seca, ficando evidente que a possível transferência do N da leucena para o capim em consórcio é devida a decomposição da LD no período de secas, embora o processo não ocorra necessariamente nas secas.

A média de LE na época de chuvas e secas para a monocultura de capim foi de 67,3 e 37,4 g m^{-2} e para o sistema silvipastoril foi de 101,1 e 28,7 g m^{-2}, respectivamente. A LD para a época de chuvas e secas foi de 43,2 e 22,7 g m^{-2} para o sistema em monocultura, e de 50,9 e 15,9 g m^{-2} para o sistema silvipastoril para um período de 7 dias, sendo os valores mais altos referentes a estação das chuvas (Tabela 5). As quantidades de LE foram bem menores do que aquelas registradas por Rezende et al. (1999) para pastagens de *Brachiaria humidicola*, consorciadas ou não com *Desmodium ovalifolium*, diferença que pode estar associada a maior relação C/N da liteira dos pastos de braquiária, que variam de 60 a 70, conforme CANTARUTTI et al. (2002), em comparação às encontradas nas áreas de capim-estrela, as quais variaram entre 18 e 20 para a época das chuvas e entre 22 e 24 para a época seca. A baixa relação C/N favorece ao rápido desaparecimento da liteira, tendo em conta que a população de decompositores tem uma composição C/N mais ou menos constante, na faixa de 5 a 15, e necessitam de menos N do solo para se multiplicarem no processo de decomposição. Liteiras com relação C/N muito mais alta, na fase inicial da decomposição, limitam a população de decompositores retardando o processo (MANZONI et al., 2008), o que explica maiores estoques de LE para materiais de relação C/N mais alta.

Tabela 3. Medias totais de MS para LE e LD (em 7 dias), e estimativas de decomposição da liteira, indicada pela constante "k", e liberação de N para o solo para pastagem de capim-estrela (SM) e para o sistema silvipastoril (SPS), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.

	LE (g m-2)		**LD (g m^{-2} $semana^{-1}$)**		**"k" (g g^{-1} dia^{-1})**		**Liberação de N (g m^{-2} dia^{-1})**	
Matéria seca	chuvas	secas	chuvas	secas	chuvas	secas	chuvas	secas
Monocultura	67,37	37,41	43,24	22,74	0,082 A	0,054 B	0,042	0,063
Silvipastoril	101,1	28,75	50,92	15,91	0,071 A	0,054 B	0,043	0,047

Letras maiúsculas diferentes na linha indicam diferenças entre épocas para o mesmo tipo de pastagem de acordo com o Teste de Tukey (p=0,05).

A constante de decomposição "k" foi semelhante entre as duas pastagens independente das estações, porém sempre maior na estação das chuvas em comparação a estação de secas (Tabela 5). A relação C/N da liteira do capim (C/N = 21) e da leguminosa (C/N = 19) foram muito próximas, o que explica a similaridade nas taxas de decomposição para monocultura e para o silvipastoril. Mesmo com a diferença na decomposição entre as duas épocas, a quantidade de N mineralizada não foi diferente entre pastagens ou épocas do ano (Tabela 5), variando entre 13 e 18 kg N ha^{-1} $mês^{-1}$, aproximadamente. Os valores de k obtidos neste estudo, que também espelham a mineralização de N, são muito próximos dos estimados por CANTARUTTI et al. (2002) para pastagens de *B. humidicola* e *D. ovalifolium* no sul da Bahia, porém um pouco maiores daqueles estimados por XAVIER et al. (2015) para sistema silvipastoril com braquiária e *Acacia mangium*, como uma das espécies arbóreas, em Coronel Pacheco, MG. A menor relação C/N das pastagens de capim-estrela, mesmo que na ausência de material de leucena, é um fator que certamente contribuiu para alta reciclagem da liteira, tal como comentado anteriormente. As quantidades de LD, que variaram entre 1,8 a 2,0 Mg ha^{-1} $mês^{-1}$ no período das chuvas e de 0,9 a 0,6 Mg ha^{-1} $mês^{-1}$ nas secas não são tão maiores do que a LD média de 1,3 Mg ha^{-1} $mês^{-1}$ encontrada por REZENDE et al. (1999), que foi a base para o estudo de CANTARUTTI et al (2002). Essa ordem de magnitude de deposição de liteira também é similar àquelas encontradas por SANTOS et al. (2006), medidas na região do Cerrado Brasileiro, com forte influência da estação seca de inverno.

A dinâmica da liteira não trouxe grande diferença na liberação de N no solo a favor do sistema silvipastoril, mas a presença de leucena foi complementar e pode ser o motivo para explicar o conteúdo de proteína mais alto da forragem em oferta do capim em consórcio. O sistema com a leguminosa plantada em aleias implica em menor competitividade para o capim-estrela, mas em uma condição em que o suprimento de N mineral se manteve praticamente inalterado, mesmo na ausência de fertilização nitrogenada.

4.4. Avaliação de Consumo de Forragem e Conteúdo de N, e a Proporção da Leguminosa na Forragem Consumida

Com a presença de bovinos, a reciclagem de N em pastagens pode ser modificada em função do que é consumido pelos animais. O consumo da forragem (Figura 13) foi estimado pela técnica tradicional que parte da quantificação da produção fecal pelo uso do marcador óxido de cromo, combinada com a informação da digestibilidade da forragem. As fezes representam a fração indigerível da forragem.

A produção fecal está discutida mais adiante (ver item 4.5), adiantando-se que para monocultura de capim, os animais produziram 1,5 kg MS $U.A.^{-1}$ dia^{-1} e 1,7 kg MS $U.A.^{-1}$ dia^{-1}

respectivamente para a época das chuvas e secas. No sistema silvipastoril para chuvas e secas, os números foram semelhantes, porém invertendo-se em relação às épocas, com 1,7 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1} e 1,5 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1}, para as chuvas e secas, respectivamente. A digestibilidade da forragem foi de 65% para o capim-estrela e de 76% para a leucena, na época das chuvas, diminuindo, respectivamente, para 52% e 69% na época das secas. A digestibilidade do capim-estrela é próxima do demonstrado por JOHNSON et al. (2011) (54 a 61%) para a faixa de fertilização nitrogenada usada neste estudo, com digestibilidades mais baixas nos períodos mais secos. Para leucena, os resultados parecem bem elevados se comparados com os encontrados por GONZALES-GARCIA et al. (2009) para estação de chuvas (56,7 %) e secas (52,6%), em Matanzas, Cuba. Por outro lado, BARROS-RODRIGUEZ et al. (2014) relatam que a digestibilidade de leucena varia entre 60 e 70% *in vivo*, indicando que os resultados aqui encontrados não são raros, e variações encontradas na literatura podem estar relacionadas a idade da planta e frações de caules e folhas amostradas.

Com base nessas informações, estimou-se um consumo de 4,49 e 4,92 kg MS U.A.$^{-1}$dia^{-1} (673,4 e 649,9 kg MS ha^{-1} mês^{-1}) para chuvas e secas, respectivamente, para a pastagem em monocultura. Para o sistema silvipastoril, o consumo foi de 5,08 e 4,45 kg MS U.A$^{.-1}$ dia^{-1} (730,9 e 681,0 kg MS ha^{-1}) para chuvas e secas, respectivamente. O consumo de leucena, no sistema silvipastoril foi de 0,97 e 0,84 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1} para chuvas e secas, respectivamente (Figura 13).

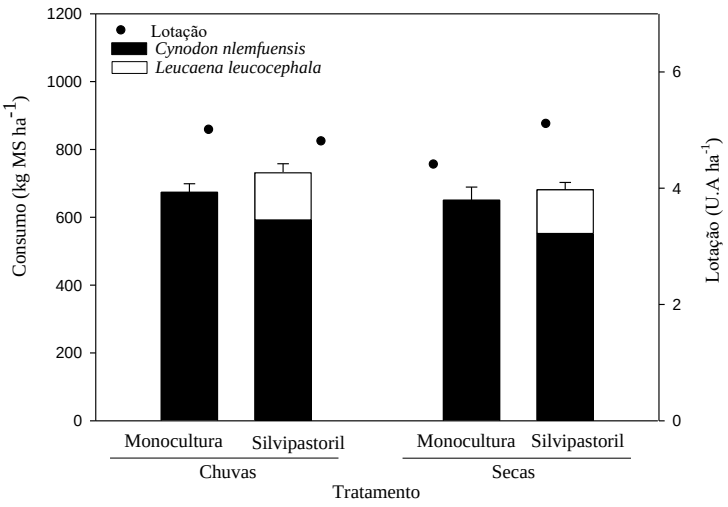

Figura 6. Consumo (kg MS ha^{-1}) da pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México, estimado pela técnica do óxido de cromo. Não houve diferenças entre os tratamentos.

O consumo similar entre as pastagens é condizente com o fato de ter sido utilizada a mesma carga animal para todos os tratamentos. Por outro lado, as quantidades consumidas parecem baixas, independente da pastagem ou época do ano, mas podem estar relacionadas ao oferecimento diário de concentrado, que complementa a necessidade nutricional dos animais. O consumo de leucena foi baixo em comparação com pesquisas anteriores. VALDIVIA (2006) relatou 2,6 e 2,3 kg de MS animal dia^{-1} em vacas mestiças em um sistema silvipastoril com e sem suplementação energética, respectivamente. BACAB-PÉREZ & SOLORIO-SÁNCHEZ (2011) encontraram maior consumo de leucena em vacas que permaneceram por 20 h em dois sistemas silvopastoris, mas com maiores densidades de leucena e menor taxa de lotação em comparação com a do presente experimento.

Esses autores relataram níveis de consumo de 2,96 kg de MS em pastagens com 34.500 plantas ha^{-1} com 3,0 UA ha^{-1}, e de 4,97 kg de MS em pastagem com 53.000 plantas ha^{-1} e sob 2,5 UA ha^{-1}.

Apesar da leucena ser uma excelente forrageira, com grande aceitabilidade pelo gado, desbalanços na razão proteína/energia consumida podem levar a um excesso de N na dieta, afetando a síntese de proteína microbiana e, em consequência, elevar os níveis de amônia no sangue, que podem reduzir a ingestão voluntária e em consequência a produtividade animal (BARROS-RODRIGUEZ et al., 2014). Talvez possa ser a explicação para o consumo observado, tendo em conta que o capim-estrela, que seria uma fonte de energia, já apresentava níveis razoáveis de PB, devendo-se reforçar que os animais ainda foram suplementados com concentrado com 14% PB e alta digestibilidade.

4.5. Avaliação da Influência da Dieta na Produção Leiteira

A ideia de que algum desbalanço nutricional tenha afetado o desempenho dos animais parece ganhar força com a análise de produção de leite. Na pastagem em monocultura de capim e no sistema silvipastoril, na época das chuvas, foi de 7,3 e 6,9 kg leite U.A.$^{-1}$ dia^{-1}, respectivamente. Nas secas, passou para 6,9 e 5,7 kg U.A.$^{-1}$ dia^{-1}, respectivamente, para monocultura e silvipastoril. Apesar da aparente redução, não houve diferença estatística entre pastagens em cada época do ano e entre épocas do ano para cada pastagem (Figura 14), havendo apenas uma leve tendência de menor produção de leite no sistema silvipastoril.

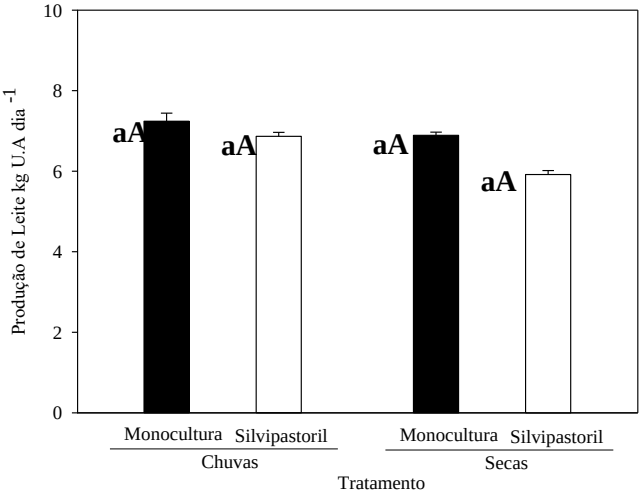

Figura 7. Produção de leite (kg U.A. dia^{-1}) por vacas em pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes entre tipos de pastagem dentro de uma mesma época, enquanto que letras maiúsculas indicam diferenças entre épocas dentro de um mesmo tipo de pastagem pelo teste de Tukey (p=0,05).

Em um estudo anterior, na mesma estação experimental e com vacas de mesma raça usadas no presente experimento, TINOCO-MAGAÑA et al. (2012) relataram uma produção de leite de 10,6 kg animal dia^{-1}, quando os animais tiveram acesso de 4 horas ao mesmo sistema silvipastoril com leucena e capim-estrela, fornecendo 1 kg de grãos de sorgo como suplemento energético. Outros estudos relatam produções de leite mais altas do que a do presente estudo, mas com leucena

oferecida como banco de proteína, tal como RAZZ et al. (2004), obtendo 9,6 kg leite animal^{-1} dia^{-1}, e FARIA et al. (2007), que encontraram uma produção de 10,8 kg de leite animal dia^{-1}.

Situação semelhante ao do presente estudo foi constatada por GARCIA & SANCHEZ (2006), que encontraram produções de leite semelhantes entre vacas com (9,1 kg animal dia^{-1}) e sem acesso a leucena (9,2 kg animal dia^{-1}), e eles atribuíram isso ao fato de que a grama sozinha cumpria as exigências nutricionais das vacas, mas não se poderia descartar que existia excesso de N na dieta dos animais na presença da leucena.

A produção de leite baseada em pastagem tropical está geralmente limitada devido às restrições no consumo da forragem de baixa qualidade, que frequentemente não atende os requerimentos dos animais em pastoreio. Nestas condições, existe uma variação grande na produção de leite (kg animal dia^{-1}) que vai de 5 a 14 kg animal dia^{-1} (SANTOS et al., 2006). Durante a época de secas os animais são ainda mais afetados devido à redução na qualidade e oferta de forragem, especialmente do capim. Nestas circunstancias, o uso de suplementos proteicos é uma ação recomendada para que os animais possam cumprir seus requerimentos de manutenção e produção de leite. Segundo a NRC (2001), uma vaca em produção de leite entre os 7 e 9 kg dia^{-1} requer aproximadamente uma forragem com 11 a 12 % de PB. Neste caso, o uso de leguminosas ricas em N como a leucena é uma boa estratégia para ser usada em consorcio com pastagem de baixa qualidade. No entanto, o capim-estrela já apresentava teores de PB dentro dessa faixa (Tabela 3), excetuando-se quando em monocultura na estação de chuvas. Neste caso, a suplementação de concentrados com 14% PB deve ter atendido as necessidades dos animais usados no estudo, reforçando a hipótese de que em ambos os sistemas existia elevada oferta de proteína, especialmente no silvipastoril onde a leucena contribuiu para aumentar demasiadamente a quantidade de N na dieta.

Outro aspecto importante são os metabólitos secundários presentes na forragem de leguminosas, como os taninos, que influenciam a produção animal, às vezes positivamente, ao formarem complexos que incrementam a taxa de passagem de proteína pelo rúmen, reduzindo sua degradação e aumentando a produtividade animal (PORDOMINGO et al., 2004; COLOMBATO, 2007). Por outro lado, efeitos negativos podem ocorrer, pois é possível que esses complexos sejam muito estáveis e acabem sendo excretados nas fezes, reduzindo a produtividade de leite ou ganho de peso, destacando-se que o N excretado nesses complexos não necessariamente tem origem na dieta, mas por distúrbios fisiológicos provocados pela ingestão dos taninos (FRUTOS et al., 2004).

Neste estudo, a leucena apresentou 4,12% de taninos na época das chuvas, e 1,09% de taninos na época das secas. Ao que parece surpreendente, altos conteúdos de taninos na leucena no período de verão (3,0 %), que se elevaram a 3,8 % no outono, e reduziram no inverno (0,5%) também foram encontrados por FOROUGHBAKHCH et al. (2007) ao avaliarem 20 espécies arbóreas e arbustivas no Nordeste do México. Embora não seja consenso, a presença de taninos pode estar relacionada a um mecanismo de defesa da planta contra a herbivoria. AHMED (2015) verificou que a presença de taninos em algumas variedades de leucena promoveu redução de população da cigarrinha *Heteropsylla cubana*, um psilídeo de grande impacto para a planta, porém o mesmo não foi observado com a mesma intensidade para a variedade Cunninham de leucena, usada neste estudo. Não obstante, sustenta a hipótese de proteção contra herbivoria.

Apesar dos taninos serem considerados como fatores anti-nutricionais, segundo MORALES & UNGERFELD (2015), os efeitos de taninos na alimentação de ruminantes dependem de vários fatores, entre eles a espécie do animal, a composição da dieta, o tipo do tanino (estrutura, peso molecular), e a quantidade (FRUTOS et al., 2004). A relação com a quantidade, refere-se a presença em concentrações elevadas (maiores aos 5%), pois, como comentado, podem

ter um impacto negativo sobre alguns parâmetros da produtividade animal, como a redução do consumo voluntário do alimento e sobre o ganho de peso vivo ou produção de leite (FRUTOS et al., 2004).

Um aspecto importante das dietas que contem taninos é reduzir o N amoniacal no rúmen e a concentração de ureia no leite, por tanto, indicando que se pode perder menos N em forma de amônio, devido à redução na degradação da proteína bruta (DSCHAAK et al., 2011). Considera-se que quantidades moderadas menores do que 5% de taninos na dieta oferecida a vacas em lactação poderiam mudar a rota do N excretado, resultando em menor excreção na urina e maior nas fezes, sem afetar a eficiência de utilização do N para a produção de leite (ANANTASOOK et al., 2015).

4.6. Quantificação da Produção Urinária e Fecal e o Balanço de Nitrogênio

As vacas existentes nas duas pastagens foram monitoradas quanto à produção de urina de forma indireta, utilizando-se como marcador a concentração de creatinina. O volume de urina para os sistemas de pastagem em monocultura foram de 13,5 e 13,2 L U.A.$^{-1}$ ha^{-1}, e de 11,3 e 13,2 L U.A.$^{-1}$ ha^{-1} para o sistema silvipastoril, para as estações de chuvas e de secas, respectivamente. Não houve diferença estatística entre as pastagens e épocas do ano (Tabela 6). A produção fecal foi de 1,55 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1} e 1,7 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1} respectivamente para a época das chuvas e secas para a pastagem em monocultura. No sistema silvipastoril para chuvas e secas, os números foram semelhantes, porém invertendo-se em relação às épocas, com 1,75 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1} e 1,53 kg MS U.A.$^{-1}$ dia^{-1}, para as chuvas e secas, respectivamente.

Tabela 4. Proporção de leucena na dieta, e produção de urina e fezes de vacas mantidas em pastagem de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.

Parâmetros	**Chuvas**		**Secas**	
	Monocultura	**Silvipastoril**	**Monocultura**	**Silvipastoril**
% de L. leucocephala **a**	0,0	19,0	0,0	18,9
Urina **b** (L por U.A dia^{-1})	13,48 ± 1,06	11,34 ± 1,53	13,16 ± 1,39	13,21 ± 1,53
Fezes **c** (kg MS por U.A dia^{-1})	1,55 ± 0,06 aA	1,75 ± 0,06 bA	1,7 ± 0,10 B	1,53 ± 0,05 B

a - Porcentagem de material de leucena na dieta dos animais, estimada pela técnica de 13C aplicada no material das fezes dos animais, combinada com a informação de digestibilidade da leguminosa; **b** - Quantificada pela técnica de urina "spot" com dosagem de creatinina; **c** - Quantificada pela técnica de marcador externo óxido de cromo; Letras minúsculas comparam médias de tipo de pastagem dentro da época, e letras maiúsculas comparam médias entre épocas para uma mesma pastagem. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o Teste de Tukey (p=0,05).

O volume urinário é influenciado principalmente pela ingestão de água, mas também pela ingestão e excreção de sais minerais pelos animais. Assim, grandes variações no volume e frequência da urina são esperadas entre animais e ao longo do dia. Em média, um bovino urina entre 1,2 e 2,1 L por evento, os volumes mais baixos são mais frequentes para gado de corte. Como a frequência média é de 8 a 12 eventos por dia (HAYNES & WILLIAMS, 1993), pode-se dizer que volumes comuns de urina de bovinos seriam encontrados entre 9 a 24 L dia^{-1}. Os volumes encontrados neste estudo estão dentro do intervalo. A produção fecal também é bastante variável e depende da quantidade e qualidade da forragem consumida, sendo comuns entre 11 e 16 defecações por dia, pesando entre 1,5 e 2,7 kg fezes frescas por evento (HAYNES & WILLIAMS, 1993). HAYNES & WILLIAMS (1993) encontraram uma média de 15 % de matéria seca nas fezes frescas, e assim, a faixa de peso seco da defecação diária seria de 2,5 a 6,5 kg fezes secas dia^{-1}. Neste caso, a produção fecal medida neste estudo ficou abaixo do mínimo esperado para vacas leiteiras, o que pode estar relacionado à alta quantidade de concentrado de alta digestibilidade oferecida aos animais, e possivelmente a algum desbalanço entre proteína/energia, que implicaria em menor aproveitamento do N ingerido (FRUTOS et al., 2004).

Na época das chuvas, o consumo de N foi mais baixo na pastagem em monocultura, totalizando 115 g N $U.A.^{-1}$ dia^{-1}, incluindo-se o N presente no concentrado fornecido diariamente (Tabela 7). No sistema silvipastoril, a existência de leucena aumentou o consumo de N, que alcançou 172 g N $U.A.^{-1}$ dia^{-1}. Na época das secas, o consumo de N reduziu em relação à época das chuvas, mas não houve diferenças entre as pastagens, situando-se pouco acima de 142 g N $U.A.^{-1}$ dia^{-1}, na média.

Tabela 7. Consumo e excreções de N por vacas presentes em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e secas em Mérida, Yucatán, México.

	Chuvas		**Secas**	
Parâmetros	**Monocultura**	**Silvipastoril**	**Monocultura**	**Silvipastoril**
Balanço de Nitrogênio (g por U.A. dia^{-1})				
N consumido	115,0 ± 4,3 bB	172,0 ± 6,3*aA	144,9 ± 8,7 A	142,7 ± 4,5 B
N total exportado	116,3 ± 4,4 B	137,6 ± 8,0	138,4 ±13,5 A	130,2 ± 11,1
N Urina	46,8 ± 3,0 B	62,4 ± 12,3	69,3 ± 8,8 A	66,8 ± 5,3
N Fezes	32,5 ± 2,0 b	43,9 ± 2,5 aA	34,3 ± 2,4	34,4 ± 1,2 B
N Leite	37,0 ± 1,7	31,3 ± 1,4	34,8 ± 3,3	29,0 ± 1,3
Balanço	-1,3 ± 3,1 b	34,4 ± 4,3 aA	6,5 ± 13,6	12,5 ± 9,0B

O asterisco indica que houve diferença entre a quantidade de N consumida e a excretada segundo o teste t-Student (p=0,05); Letras minúsculas comparam médias de tipo de pastagem dentro da época, e letras maiúsculas compara médias entre épocas para uma mesma pastagem. Letras diferentes indicam diferenças significativas de acordo com o Teste de Tukey (p=0,05).

As quantidades diárias de N ingeridas pelos animais estão dentro do intervalo obtido por REED et al. (2015) para 1047 vacas lactantes que vai de 80 a 932 g N dia^{-1}, com pesos vivos variando de 302 a 854 kg. O total de N excretado observado por esses autores variou de 22 a 350 g N dia^{-1} na urina e de 35 a 334 g N dia^{-1} nas fezes, intervalos que também abrigam as respectivas quantidades encontradas neste estudo. As quantidades de N presentes como proteína no leite foram próximas de 30 a 38 g N dia^{-1}, sem diferenças entre tratamentos. Segundo REED et al (2015), em seu universo de animais investigados, exportações entre 0,85 a 267 g N dia^{-1} foram observadas.

Com relação aos valores de excreção de N nas fezes e urina, verifica-se que o N foi majoritariamente excretado pela urina, numa razão média de 59% do N total das excretas na época das águas e de 66% na época das secas (Tabela 7). REED et al. (2015) encontraram uma razão média de 51% entre N-urina e N-total excretado, enquanto que YAN et al. (2006), que trabalharam com um universo de 564 vacas lactantes (535 Holstein-Friesian), encontraram uma razão média de 60 % entre N-urina e N-total excretado. Isso indica que em termos proporcionais, as excreções aqui encontradas não são incomuns. Em geral, quanto mais pobre é a dieta em termos de proteína, mais se aproximam as quantidades de N excretadas na urina e nas fezes (HAYNES & WILLIAMS, 1993). Em alguns casos, quando a dieta é muito dependente da pastagem, como ocorre com gado de corte, a proporção de N nas fezes pode chegar a superar a quantidade de N na urina (XAVIER et al., 2015).

A formação de complexos de taninos-proteína no rúmen do animal pode proteger as proteínas da digestão microbiana, o que faz com que a excreção de N seja aumentada nas fezes. Isso pode ser a explicação para maior quantidade de N nas fezes no sistema silvipastoril, durante a época das chuvas (Tabela 7). Na leucena, os taninos são do tipo condensado, que forma complexos com proteínas, podendo melhorar ou mesmo piorar o desempenho animal. Durante a época das chuvas os taninos estavam em concentração 4 vezes maior do que na época das secas, proporcionando um efeito mais intenso de proteção das proteínas da degradação no rúmen. Segundo ECKARD et al. (2010) e MISSELBROOK et al. (2005), a proporção de N total excretada nas fezes aumentou de 40 a 60% quando o teor de taninos na dieta variou de 1% para 3,5%. O uso de taninos na alimentação acima de 0,2% da ingesta (matéria seca) não só aumenta o N excretado nas fezes, mas também faz com que o N na urina diminua. Além disso, a taxa de mineralização de N das fezes pode ser diminuída em função desses complexos tanino-proteína em comparação às fezes que não os contém (ECKARD et al., 2010), retendo o N no solo por mais tempo. Outras pesquisas evidenciam que animais em pastejo que consomem forragem com altas concentrações de proteína podem excretar entre 75 – 95 % do N consumido (MCSWEENEY et al. 2011). No presente estudo, o retorno de N para a pastagem variou de 60 a 70 %, o valor mais alto referente à época das secas, porcentagens comuns para vacas lactantes que tem o leite como importante dreno do N consumido.

O balanço entre as quantidades de N consumidas e as quantidades exportadas nas excretas e no leite permitem avaliar se houve retenção ou perda de N nos sistemas e épocas estudados. No presente estudo, embora balanços positivos de N tenham sido encontrados em vacas do sistema silvipastoril em ambas épocas e na monocultura de capim para a época das secas, com resultado levemente negativo para monocultura na época das águas, somente o sistema silvipastoril nas águas mostrou uma diferença significativa entre a quantidade de N ingerida e a quantidade de N exportada (Tabela 7). Assim, nos demais sistemas, pode-se dizer que o N ingerido não foi retido no animal, o que indicaria ganho de peso ou acumulação sérica, ou perdido, o que se traduziria em perda de peso vivo.

Considerando-se a quantidade de N retida no tratamento silvipatoril na época das águas, caberia estimar um ganho de peso de 1,36 kg N dia^{-1}, o que seria muito raro e facilmente perceptível. De fato, as vacas não ganharam peso de forma significativa, implicando dizer que o N excedente ficou acumulado no sangue. Segundo LEE et al. (1978), vacas lactantes sadias apresentam em média 8 g PB dL^{-1} de sangue, ou 800 g PB por vaca, considerando um volume de 10 L de sangue em animal adulto com 500 kg. Assim, uma estimativa da quantidade de N no sangue de bovinos seria de 128 g N UA^{-1}. A retenção de N encontrada no sistema silvipastoril nas águas foi de 34,4 g N UA^{-1} dia^{-1}, o que obrigaria a uma alteração diária na concentração sérica de ureia

extremamente alta. Os resultados de LEE et al. (1978) mostram que os níveis de ureia no sangue podem variar em mais de 100 %, o que reflete a concentração de N no rúmen. É possível também que pequenos ganhos de peso combinados com uma acumulação estacionária de N no sangue explique os resultados. Porém, é uma questão complexa e desvia do assunto central desta tese, mas fica como uma lacuna para futuros estudos sobre retenção de N em bovinos.

4.7. Emissões de Óxido Nitroso e Metano Provenientes de Urina e Fezes Bovinas

A dinâmica de N no sistema pecuário bovino também é uma preocupação ambiental, pois o excesso de N no sistema pode promover emissões de óxido nitroso (N_2O), um dos mais importantes gases de efeito-estufa na agropecuária.

O retorno de N pela urina dos bovinos implica em maiores emissões de N_2O do que o retorno pelas fezes (LESSA et al., 2014), pois trata-se de uma forma de N que rapidamente fica disponível no solo como N mineral, o qual é substrato para os processos de nitrificação e desnitrificação no solo que resultam em emissões de N_2O.

No presente estudo, verificou-se que a aplicação de urina bovina nos solos calcários de Mérida, Yucatán, com pastagem de capim-estrela, também resultaram em fluxos de N na forma de N_2O mais intensos do que o originado das fezes (Figura 15).

No início do período das chuvas, a aplicação das excretas coincidiu com uma precipitação relativamente alta, de cerca de 20 mm, o que resultou em um dos maiores picos de emissão do gás. A precipitação é um fator importante nos processos de produção de N_2O, pois a desnitrificação, responsável pela redução das formas oxidadas de N até N_2, é o processo mais relevante para as emissões do gás. A chuva mais volumosa aumenta a saturação do espaço poroso do solo, o que leva ao rápido consumo do O_2 existente e estimula a ação dos desnitrificadores (ALVES et al, 2012). Além disso, a temperatura na região se manteve em níveis relativamente favoráveis á desnitrificação, e a disponibilidade de N mineral no solo certamente se elevou com as excretas, todos fatores chave para a produção de N_2O (CHEN et al., 2007).

Os maiores fluxos diários de N_2O ocorreram nos primeiros 6 dias de monitoramento para duas pastagens avaliadas (monocultura e silvipastoril) e após esse período os fluxos foram praticamente baixos. O tratamento urina proveniente do sistema Monocultura apresentou maior emissão de N_2O, com pico de aproximadamente 1624 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} para chuvas e de 472 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} para secas, respectivamente, enquanto o do tratamento fezes do mesmo sistema foi de 566 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} para chuvas e 126 µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1} para secas, um pouco maior ao controle. No sistema silvipastoril, os fluxos do tratamento urina foram maiores do que o das fezes e controle, sendo os picos mais altos resultado das excretas bovinas do sistema Monocultura.

As excreções de animais nos sistemas de pastejo podem representar entre 300 a 1.000 kg N ha^{-1} no local afetado pela excreta, criando assim condições ótimas para a produção de N_2O (VAN GROENIGEN et al. 2005). Segundo OENEMA et al., (1997; 2005), as quantidades emitidas de N na forma de N_2O encontraram-se entre 1 e 80 g de $N\text{-}N_2O$ por kg de N nas excreções, e que entre 0,1 e 3,8% do N da urina e entre 0,1 e 0,7% do N das fezes foi emitido para a atmosfera como N_2O.

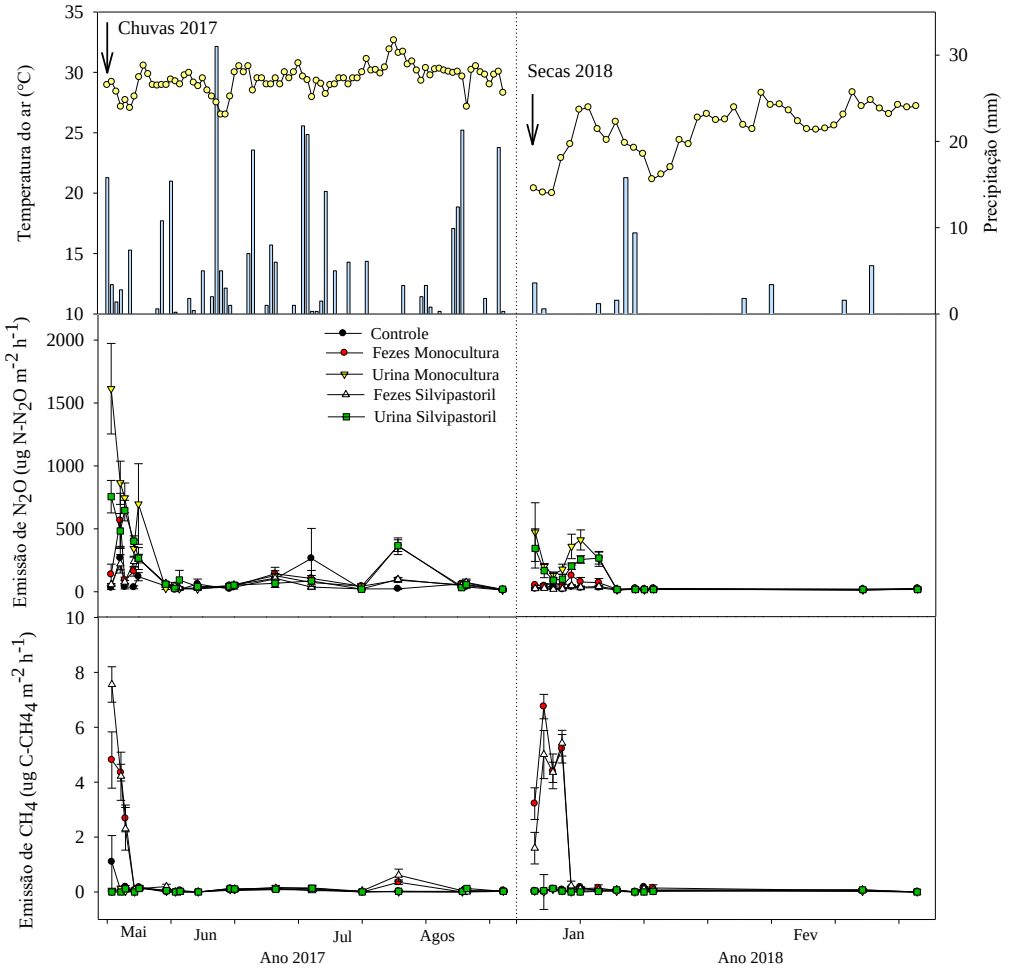

Figura 8. Precipitação (mm), temperatura média do ar (ºC) e fluxos de N_2O (µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1}) e de CH_4 (µg $C\text{-}CH_4$ m^{-2} h^{-1}) originados de solo sob pastagem de capim-estrela tratada com excretas originadas de animais que se encontravam em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), durante o monitoramento das épocas de chuvas e de secas em Mérida, Yucatán, México.

Embora outros fatores como C do solo, pH e N mineral sejam importantes no controle das emissões de N_2O, somente a umidade e a temperatura podem explicar 74% e 86% das variações nas emissões de NO e N_2O do solo, respectivamente (SCHINDLBACHER et al., 2004).

Na Figura 13 são apresentados também os fluxos diários de CH_4 nos diferentes tratamentos ao longo dos dias de monitoramento. Observa-se que as emissões para urina e para o controle foram praticamente nulas para ambas as pastagens na época de chuvas como na época de secas. Os maiores fluxos ocorreram nos primeiros três dias para o tratamento fezes para ambos os sistemas de manejo de pastagem (monocultura e silvipastoril). O tratamento com fezes de animais do sistema silvipastoril apresentou o maior pico de emissão (7,6 e 5,0 µg $C\text{-}CH_4$ m^{-2} h^{-1}) para chuvas e secas, em comparação com o tratamento de fezes originadas de animais da monocultura de capim-estrela (4,8 e 7,0 µg $C\text{-}CH_4$ m^{-2} h^{-1}, para chuvas e secas, respectivamente).

Integrando-se os fluxos para o período de monitoramento, encontrou-se que as maiores emissões de N_2O foram observadas com a adição de urina, e corresponderam a 119,1 e 80,1 g N ha-

$^{1}h^{-1}$, respectivamente, para a monocultura e para o silvipastoril, quantidades essas descontadas da emissão de N_2O computada para o controle sem excretas, que foi de 27,35 g N $ha^{-1}h^{-1}$. Os fluxos de N_2O após a adição de fezes foram baixos para ambos os tratamentos, variando de 41,2 a 30,4 g N $ha^{-1}h^{-1}$.

Os resultados de emissão acumulada de CH_4 as fezes do sistema silvipastoril resultaram no maior acúmulo do gás na época de chuvas, de 29,8 g C ha^{-1}, seguida das fezes do tratamento monocultura nas secas (26,0 g C ha^{-1}).

4.8. Fatores de Emissão

Os tratamentos com fezes apresentaram fatores de emissão de N_2O de 0,05 e 0,01% para pastagem em monocultura e silvipastoril na época de chuvas, respectivamente, enquanto que os respectivos fatores de emissão para urina foram de 0,52% e 0,17% do total de N aplicado. Para a época das secas, os fatores de emissão foram bem mais baixos, variando de 0,02 a < 0,01 % para as fezes em sistema monocultura e silvipastoril, respectivamente. Para a urina, os fatores foram mais altos do que o das fezes, mas ainda abaixo do observado nas chuvas, sendo de 0,05 % independente do sistema de pastagens.

O fato da urina originada do tratamento silvipastoril na época das águas apresentar maior teor de N em relação à originada da monocultura não implicou em maior fator de emissão, embora não seja claro o motivo.

Em todos os casos, os fatores de emissão foram inferiores a 2%, valor *default* na metodologia do IPCC para qualquer tipo de excreta. Importante ressaltar que a urina contribui mais para as emissões de N_2O do que as fezes, tal como encontrado por outros autores (LESSA et al. 2014; CHADWICK et al., 2018), reforçando-se a ideia de se criar fatores de emissão desagregados pelo tipo de excreta para a metodologia do IPCC.

Com esses dados apresentados, pode-se inferir que o uso do silvipastoril com leucena é uma opção para minimizar o impacto em emissões de N_2O pelas excretas comparadas ao uso de fertilização nitrogenada.

Tabela 8. Fatores de emissão de N_2O e CH_4, provenientes de excretas de bovinos originadas de animais que se encontravam em pastagens de capim-estrela (Monocultura) e no sistema com leucena (Silvipastoril), para as épocas de chuvas e de secas em Mérida, Yucatán, México.

	Chuvas				**Secas**			
Gás (unidade de FE)	**Monocultura**		**Silvopastoril**		**Monocultura**		**Silvopastoril**	
	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina	Fezes	Urina
N_2O (%)	0,05	0,52a	0,01	0,17b	0,02	0,05	0,00	0,05
CH_4 (kg CH_4 $animal^{-1}$ ano^{-1})	0,17a	-	0,26b	-	0,17aA	-	0,14a	-

Médias de FE de cada gás seguidas pela mesma letra minúscula não são diferentes segundo o teste de Tukey (p=0,05).

Segundo YAMULKI et al. (1998), o total de perdas de N-N_2O representou 0,53% do N aplicado como fezes e 1% do N aplicado na urina, com uma produção maior de fluxos no período úmido. Reforça-se a importância da urina como fonte principal de emissões de N_2O em pastagens (ECKARD et al. 2010).

Tal como ocorreu para o fator de emissão de N_2O, o fator de emissão de CH_4 para as fezes também foi inferior ao *default* do IPCC (2006) para vacas leiteiras das Américas, em clima tropical,

de 1 kg CH_4 cabeça^{-1} ano^{-1}, independente da pastagem ou época do ano (Tabela 8). Houve interação significativa dos fatores tipo de pastagem e época. As fezes provenientes do sistema silvipastoril resultaram em maior fator de emissão, em comparação aos demais, os quais foram similares entre si. A produção de CH_4 nas fezes é dependente da permanência de condições anaeróbicas sob baixo potencial redox, e por isso após a exposição das fezes ao ambiente, a tendência é a de que a produção do gás diminua com a perda de água das fezes (YAMULKI et al., 1999). O clima quente na região, independente da época do ano, pode ter contribuído para abreviar a produção do gás, justificando os valores menores do que existe na guia metodológica do IPCC (2006). Como a disponibilidade de amônia livre exerce efeito antagonista por competir pelos sítios enzimáticos envolvidos na metanogênese (YENIGÜN & DEMIREL, 2013), é possível que a maior proporção de taninos condensados na leucena ingerida no verão tenha contribuído para diminuir a NH_4^+ livre nas fezes, favorecendo maior produção de CH_4.

4.9. Fluxos de N em Sistemas de Pastagem (Monocultura e Silvipastoril)

Os resultados obtidos nos monitoramentos do sistema solo-planta-animal foram integrados para melhor visualizar os impactos de cada sistema na produtividade animal no ambiente.

Os diagramas dos fluxos de N (Figuras 16 a 19) para os sistemas de produção de monocultura e silvipastoril nas épocas de chuvas e secas, respectivamente, mostram valores médios de N ofertado na forragem, N depositado como liteira, N da FBN no sistema silvipastoril, o consumo do N da forragem e do alimento, exportação de N pelo do leite, e excreções pela urina e fezes.

A contribuição da FBN foi estimada tendo em conta a produção primária em cada pastagem e época do ano, considerada como sendo o somatório da quantidade de liteira produzida e a quantidade de forragem consumida. A oferta de forragem mostrou poucas diferenças ao longo do tempo e diferenças nesse estoque de N entre o fim e o início do monitoramento são irrelevantes.

Utilizando-se a técnica de abundância natural de ^{15}N, estimou-se que do total de N na forragem em oferta, 52,9 e 57,0% foram provenientes da FBN, respectivamente para as estações de chuvas e secas, indicando pouco efeito sazonal sobre o processo. Logo, essas mesmas proporções do N existente na liteira depositada e na forragem consumida deveriam ser provenientes da FBN (BODDEY et al., 2004), o que foi assumido neste estudo.

Independente dos sistemas de pastagens e épocas do ano, a deposição de liteira recicla uma significativa parte do N presente no sistema. Na Figura 16, que se refere ao sistema com monocultura de capim, houve uma fertilização com N, na dose de 100 kg ha^{-1}, mas que ocorreu de forma única, valendo para o período das secas (não está mostrada nas Figuras). Considerando ser um evento anual, faz sentido pensar em uma entrada mensal de 1/12 avos de N via fertilizante, ou 8,3 kg N ha^{-1} mês^{-1}.

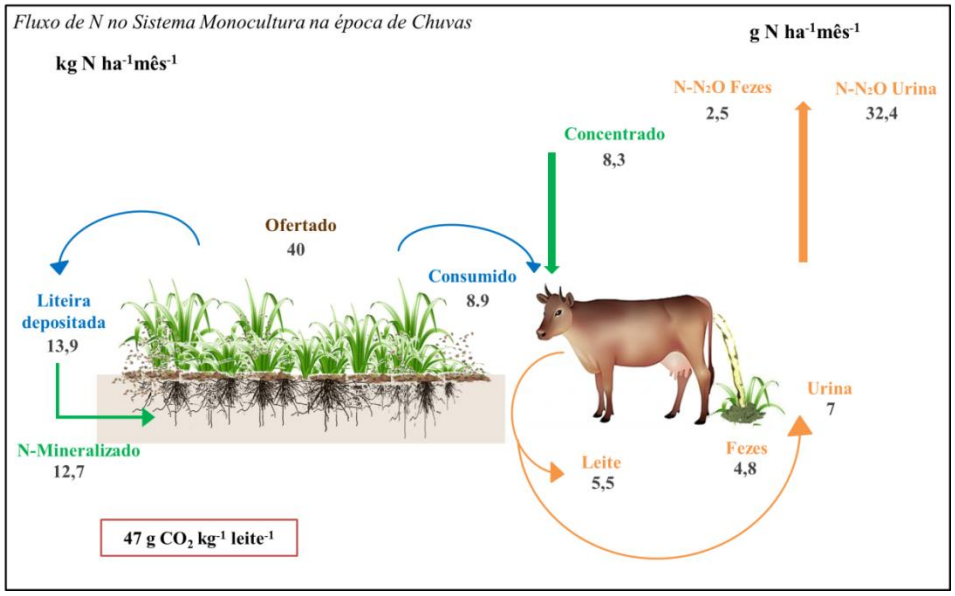

Figura 9. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema monocultura de capim estrela pastejada na época de chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.

Somando-se a fertilização com a entrada de N pelo concentrado, esse sistema recebe um aporte externo de 16,6 kg N ha^{-1}. A exportação principal de N é o leite produzido, gerando uma saída de 5,5 kg N ha^{-1} mes^{-1}. Como a fonte de N utilizada foi ureia, aplicada a lanço, é muito provável que perdas de 20 a 30 % tenham ocorrido por volatilização de amônia (ALVES et al., 2017). A desnitrificação embora presente, indicada pelas perdas de N_2O, deve ter sido de pequena importância em função das condições não tão propícias ao processo. Logo, a exportação de N no leite deve ser compensada pela entrada de N via fertilização nitrogenada. A reciclagem de N via liteira responde por 45 % do N total reciclado (via liteira e via animal), e pode ser considerada uma via sujeita a menos perdas de N, pois trata-se de um processo de lenta liberação e em meio ao sistema radicular das plantas, sendo mais uniforme espacialmente (DUBEUX et al., 2006). Por outro lado, o N reciclado via animal, que inclui o N consumido da pastagem e o existente no concentrado, chegam ao solo na forma de fezes e urina, a última com grande potencial de perdas por volatilização de amônia, que se aproxima dos 20 % do N existente (LESSA et al., 2014). Segundo THOMAS (1992), quanto maior for a reciclagem de N pela via animal, maiores as perdas de N do sistema. Assim, somente o N da fertilização não seria suficiente para compensar as possíveis perdas de N, isso sem considerar que os produtos presentes no concentrado também geram impactos, como emissões de gases de efeito estufa (CARDOSO et al., 2016). Porém, o concentrado foi tratamento comum e não será mais discutido.

Somando-se as perdas de N por emissão de N_2O das excretas, chega-se a um total de 34,9 g N-N_2O ha^{-1} $mês^{-1}$, ou o equivalente a 16,3 kg CO_2eq ha^{-1} $mês^{-1}$. Pode-se somar a isso, um total de 4,5 kg CO_2 kg^{-1} N fertilizante aplicado, correspondente a energia fóssil para síntese de amônia, processamento e transporte do fertilizante, que neste caso seria de 37,5 kg CO_2 eq ha^{-1} $mês^{-1}$. Chega-se a um total de 53,5 kg CO_2eq ha^{-1} $mês^{-1}$ em termos de emissões para uma produção de leite de 1142 kg ha^{-1} $mês^{-1}$, ou seja, uma intensidade de emissão de 47g CO_2 kg^{-1} $leite^{-1}$.

Na Figura 17, o mesmo raciocínio é feito, porém o sistema silvipatsoril possui a leucena aportando 14,7 kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ provenientes da FBN, sem a utilização de fertilizante nitrogenado.

Nos sistemas de pastagens, o N fixado simbioticamente pelas leguminosas pode variar de 100 a 380 kg N $ha^{-1}ano^{-1}$, havendo registros de quantidades acima dos 500 kg N $ha^{-1}ano^{-1}$ (CARLSSON & HUSS-DANELL, 2003). No caso da *L. leucocephala*, existem resultados de FBN de até 285 kg N $ha^{-1}ano^{-1}$, o qual é relatado em diferentes trabalhos (JAYASUNDARA et al., 1997; CAMACARO et al., 2004; SARABIA, 2013), e mais ainda quando o sistema tem altas densidades de plantas da leguminosa. Neste sistema com a leguminosa, o consumo de N pelo animal foi maior, mas a produção de leite mensal foi menor, chegando a 947 kg leite ha^{-1} $mês^{-1}$. A exportação do N no leite foi compensada com sobras pela entrada de N da FBN, e as emissões de N_2O chegam a 16,1 g N ha^{-1} $mês^{-1}$, ou o equivalente a 7,5 kg CO_2eq ha^{-1} $mês^{-1}$. Com isso, a intensidade de emissões é de 8 g CO_2eq kg^{-1} leite.

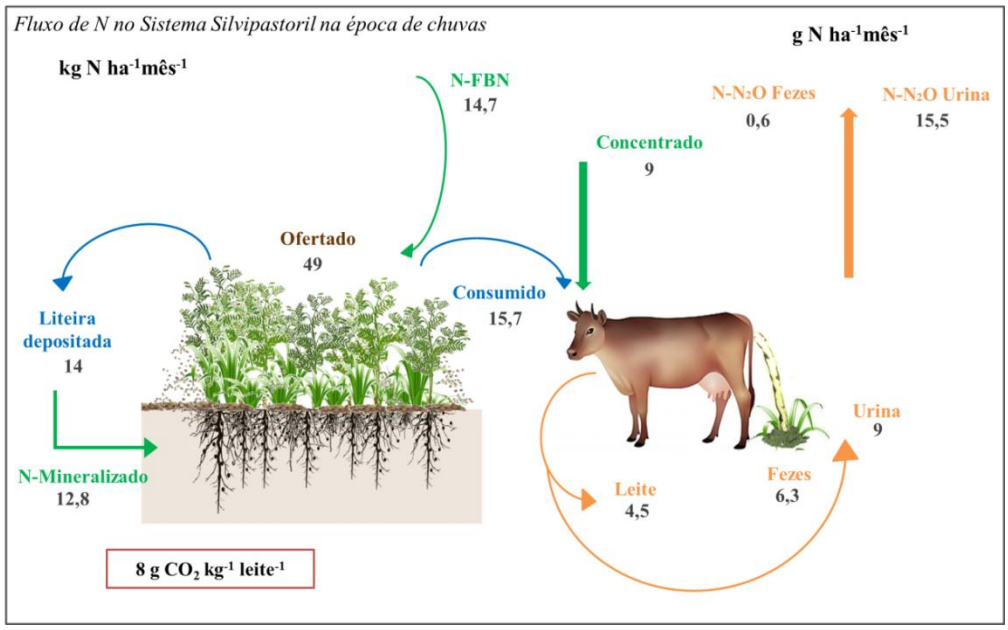

Figura 10. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema silvipastoril de Leucena em consorcio com capim-estrela pastejado na época das chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.

Nas Figuras 18 e 19, os fluxos são mostrados para a época das secas para o sistema em monocultura e para o silvipastoril, respectivamente. Na monocultura de capim-estrela (Figura 18), as emissões de N_2O foram menores do que na época das chuvas, porém a contribuição do fertilizante pesa bastante no resultado final de intensidade de emissão. Novamente, a quantidade de fertilizante nitrogenado mensal fica muito próxima da exportação do N no leite e a entrada de N pelo concentrado é fundamental para compensar as possíveis perdas de N pelas excretas. Nesta condição, as emissões foram de 55,8 kg CO_2eq $ha^{-1}mês^{-1}$ para uma produção de leite de 1003 kg ha^{-1} $mês^{-1}$, ou uma intensidade de emissão de 55,6 g CO_2eq kg^{-1} leite. Neste caso, a intensidade aumenta em relação a monocultura da época das águas pela queda significativa na produtividade de leite durante as secas.

Para o sistema silvipatoril, a entrada de N via FBN reduziu para 10,8 kg N ha^{-1} $mês^{-1}$, mas ainda assim compensaria a exportação pelo leite e possíveis perdas de N de até 41% do total excretado como urina e fezes. Não existindo o componente fertilizante nitrogenado, as emissões de gases de efeito estufa se restringem ao N_2O das excretas, que foi de 5,21 g N-N_2O ha^{-1} $mês^{-1}$, ou

o equivalente a 2,44 kg CO_2 ha^{-1} $mês^{-1}$. Com uma produção de leite de 870 kg ha^{-1} $mês^{-1}$, a intensidade de emissão seria de 2,8 g CO_2eq kg^{-1} leite.

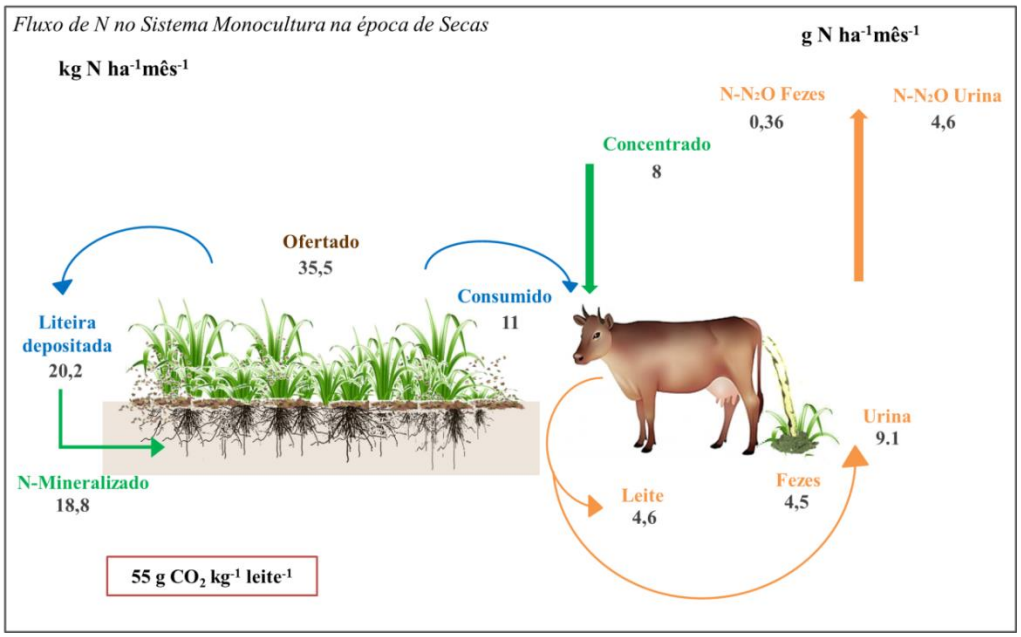

Figura 11. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema monocultura de capim-estrela pastejado na época de secas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.

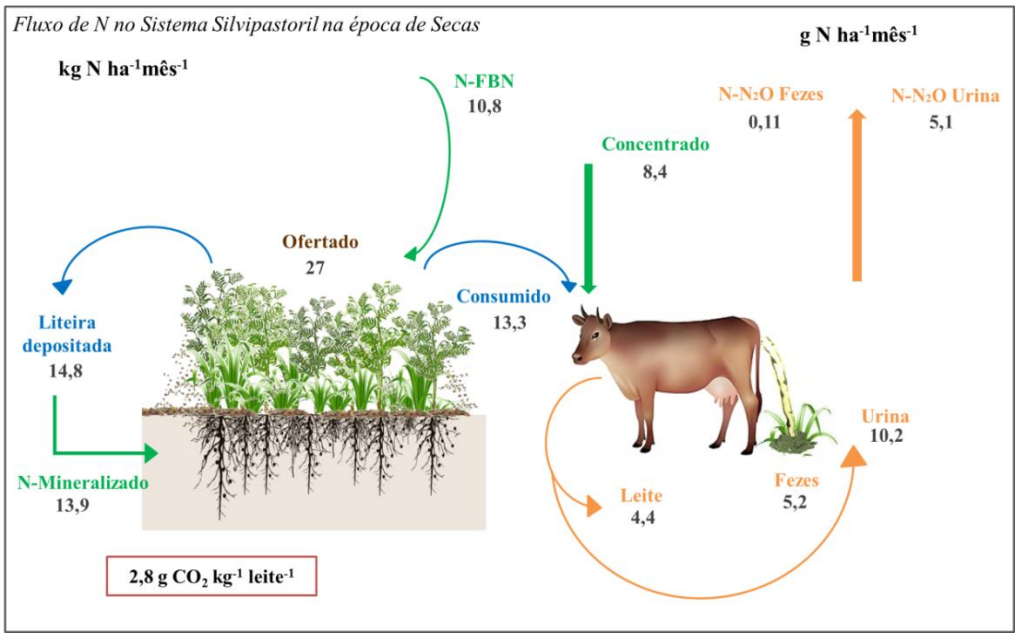

Figura 12. Esquema do fluxo de nitrogênio em um sistema silvipastoril de Leucena em consorcio com capim-estrela pastejado na época das chuvas. Valores dos fluxos, perdas e entradas de N em kg N ha^{-1} $mês^{-1}$ e valores das emissões de N-N_2O em g N ha^{-1} $mês^{-1}$.

É importante frisar que essas intensidades de emissão são para simples comparação dos sistemas com base na dinâmica de N. Faltaria adicionar as emissões relacionadas ao uso de concentrados, operações mecânicas etc; e especialmente as entéricas, que representam uma grande parte das emissões totais dos sistemas, tal como descrito em CARDOSO et al. (2016).

A importância da integração de leguminosas nos sistemas pecuários, e a capacidade de realizar a FBN, dispensando a adubação com fertilizante nitrogenado, tem um benefício econômico (ROCHON et al., 2004; HUMPHREYS et al., 2012). Também é provável que os custos destes adubos aumentem em relação aos demais custos dos produtos agrícolas (HUMPHREYS et al., 2012). Nestas circunstâncias, o uso das leguminosas como fonte de forragem oferece um benefício a mais que é o de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

5. CONCLUSÕES

A utilização de leucena como leguminosa forrageira em sistema silvipastoril com capim-estrela proporciona dieta mais rica em PB, o que foi constatado no N consumido pelos animais, numa comparação com a monocultura de capim. Não obstante, a produção de leite foi similar entre os sistemas, indicando que havia alguma limitação nutricional para converter a proteína em leite. De qualquer forma, a presença da leguminosa permite produtividade de leite similar ao sistema fertilizado com 100 kg N ha^{-1} ano^{-1}.

A presença de leucena em sistema silvipastoril foi muito importante para introduzir N da FBN. A FBN representa mais de 45% do N da leguminosa na pastagem, isso em condições tropicais. Apesar da FBN realizada pela leucena, não se observa aumento da reciclagem de N pela liteira, possivelmente por ser consumida pelos animais, não beneficiando diretamente o capim-estrela em consórcio. De fato, o sistema silvipastoril aumenta a reciclagem de N via animal.

A dieta dos bovinos contendo leucena não modifica a distribuição do N excretado entre urina e fezes bovinas, mas implica em alterações nas emissões de N_2O e CH_4 das excretas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis.** (15th ed.). HELRICH K. (Ed.) Arlington, USA: VA, 1990.

AHMED, M. M. A.; SÁNCHEZ, F. J. S.; AVILÉS, L. R.; MAHDY, R. E. E.; CAMAAL, J. B. C. Tannins and mimosine in Leucaena genotypes and their relations to Leucaena resistance against leucaena Psyllid and Onion Thrips. **Agroforestry systems**, v. 91 n. 1, p. 1-8, 2017.

ALVAREZ S.; RUFINO M. C.; VAYSSIÈRES J.; SALGADO, P.; TITTONELL, P.; TILLARD, E.; BOCQUIER, F. Whole-farm nitrogen cycling and intensification of crop-livestock systems in the highlands of Madagascar: an application of network analysis. **Agricultural systems** 126: 25-37. 2014.

ALVES, B. J. R. ; CARVALHO, A. M. ; JANTALIA, C. P. ; MADARI, B. ; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In: LIMA, A. M.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. A.; URQUIAGA, S. (Org.). **Estoque de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, v., p. 159-191. 2012.

ALVES, B. J. R.; MARTINS, M. R.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Importância da Fixação Biológica de Nitrogênio para a Sustentabilidade Agrícola no Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. (eds.) **Práticas de Manejo do Solo no Cerrado**. 1ª ed. Vol. 1, 220-259. Goiânia: Gráfica UFG. 2017.

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, (Embrapa-CNPAF. Documentos, 46) p. 409-449. 1994.

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N_2O flux from soils. **Soil Biol. Biochem.** 46, 129-135. 2012.

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Influência de fungos e bactérias na eficiência da fertilização nitrogenada e na emissão de N_2O para a atmosfera. In: MOREIRA, F. M. S.; KASUYA, M. C. M. (eds) **Fertilidade e biologia do solo** - Integração e tecnologia para todos (FERTBIO), Vol. 1. SBCS: Viçosa, p. 197-226. 2016.

ALVES, B., URQUIAGA, S., AITA, C., BODDEY, R., JANTALIA, C., & CAMARGO, F. (2006). Manejo de sistemas agrícolas. Porto Alegre, RS: Gênesis, 215 p.

ANANTASOOK, N.; WANAPAT, M.; CHERDTHONG, A.; GUNUN, P. Effect of tannins and saponins in S amanea saman on rumen environment, milk yield and milk composition in lactating dairy cows. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, 99(2), 335-344. 2015.

BACAB, H.; SOLORIO, F.; SOLORIO, B. Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. **Avances en Investigación Agropecuaria** 16(1): 65-77. 2012.

BACAB, P. H.; SOLORIO, S. F. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. **Tropical and Subtropical Agroecosystems** 13(3): 271-278. 2011.

BALASUBRAMANIAN, V.; ALVES, B.; AULAKH, M.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; DRINKWATER, L.; MUGENDI, D.; VAN KESSEL, C.; OENEMA, O. Crop, Environmental, and Management Factors Affecting Nitrogen Use Efficiency. In: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment. MOSIER, A. R.; SYERS, J. K.; FRENEY, J. R. **Scope 65**. Washington: Island Press, pp. 19-33. 2004.

BARROS-RODRÍGUEZ, M.; SANDOVAL-CASTRO, C. A.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J.; SARMIENTO-FRANCO, L. A.; ROJAS-HERRERA, R.; KLIEVE, A. V. Leucaena leucocephala in ruminant nutrition. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 17, p. 173-183, 2014.

BERGSTROM D.W., TENUTA M. Y BEAUCHAMP E.G. (2001). Nitroux oxide production and flux fromsoil under sod? fol owing application of different nitrogen fertilizers. Commun. Soil. Sci. Plant.Anal. 32, 553570.

BHATIA, A; PATHAK, H; AGGARWAL, P. (2004). Inventory of methane and nitrous oxide emissions from agricultural soils of Índia and their global warming potential. Current Science 87(3): 317-324

BINKLEY, D.; BELL, R.; SOLLINS, P. Comparison of methods for estimating soil nitrogen transformations in adjacent conifer and alder-conifer forests. **Canadian Journal of Forest Research** 22 (6): 858-863. 1992.

BODDEY, R. M., PEOPLES, M. B.; PALMER, B.; DART, P. J. Use of the 15N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 57:235-270. 2000.

BODDEY, R. M.; CARVALHO, I. D. N.; REZENDE, C. D. P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; MACEDO, R.; TARRE, R.; ALVES, J. R. B.; URQUIAGA, S. The benefit and contribution of legumes and biological N_2 fixation to productivity and sustainability of mixed pastures. In: **Proceedings of the 1st international conference on forages in warm climates**. Lavras: Universidade Federal de Lavras - MG, Vol. 1, pp. 103-140. 2015.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C.; REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M. ; ALVES, B. J. R. ; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 103, n. 2, p. 389-403. 2004.

BOHLOOL, B. B.; LADHA, J. K.; GARRITY, D. P.; GEORGE, T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. **Plant and Soil**, v. 141, p. 1-11, 1992.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; DOS SANTOS, C. A.; DOS SANTOS, S. C.; MACHADO-PINHEIRO, E. F.; BODDEY, R. M. Soil carbon stocks under productive and degraded pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 914. 2013.

BROOM, D. M., GALINDO, F. A., & MURGUEITIO, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 280(1771).

BROOM, D.; GALINDO, A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animal. **Proceeding of the royal society biological sciences** 280: 2013-2025. 2013.

BRUCE, R. C.; EBERSOHN, J. P. Litter measurements in two grazed pastures in southeast Queensland. **Tropical Grasslands**, 16(4), 180-185. 1982.

BURCHILL, W.; JAMES E.; LI, D.; LANIGAN, G.; WILLIAMS, M.; LANNETTA, P.; HUMPHREYS, J. Comparisons of biological nitrogen fixation in association with white clover (*Trifoliumrepens* L.) under four fertilizer nitrogen inputs as measured using two 15N techniques. **Plant Soil** 385(1-2): 287-302. 2014.

CADISCH, G.; GATHUMBI, S.; NDUFA, J. K.; GILLER, K. E. Resorce Acquisition of Mixed Species Fallows Competition or Complementarity? In: VANLAUWE B.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. (eds). **Integrated Plant Nutrient Management in Sub-Saharan Africa**. Wallingford, UK: CABI Publishing, pp. 143-154. 2002.

CADISH, G AND GILLER, K. E. (1997) Driven by nature: Plant Litter Quality and Decomposition. CAB International, Wallingford, U.K.

CAIRNS, M. A.; DIRZO, R.; ZADROZA, F. "Forest of Mexico: A Diminishing Resource" **Journal of Forestry** 93 (7): 21-23. 1995.

CAMACARO, S.; GARRIDO, J.; MACHADO, Y. W. Fijación de nitrógeno por Leucaena leucocephala, Gliricidia sepium y Albizia lebbeck y su transferencia a las gramíneas asociadas. **Zoot. trop.**, 22(1): 49-69. 2004.

CANTARUTTI, R. B.; TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CADISCH, G.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; BRAGA, J. M.; GOMEDE, J. A.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v. 64, p. 257-271, 2002.

CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J.; DE CARVALHO, I. D. N.; DE BARROS SOARES, L. H.; BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, 143, 86-96. 2016.
CARLSSON, G.; HUSS-DANELL, K. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. **Plant and soil**, 253(2), 353-372. 2003.

CARTER, M.S., (2007). Contribution of nitrification and denitrification to N2O emissions from urine patches. Soil Biol. Biochem. 39, 2091-2102.

CASANOVA, L. F.; PETIT, A. J.; SÁNCHEZ, F. J. S.; PARSONS, D.; AVILÉS, L. R. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. **Agroforestry systems** 88 (1): 29-39. 2014.

CASANOVA-LUGO F, PETIT-ALDANA J, SOLORIO-SÁNCHEZ F.J, PARSONS D, RAMIREZ-AVILE´S L. (2014). Forage yield and quality of Leucaena leucocephala and Guazuma ulmifolia in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico Agroforest Syst 88:29-39.

CASTRO-NUNEZ, A., BURITICA, A., GONZALEZ, C., VILLARINO, E., HOLMANN, F., PEREZ, L., DEL RÍO, M., SANDOVAL, D., EUFEMIA, L., LÖHR, K. AND DURANGO, S., 2021. The risk of unintended deforestation from scaling sustainable livestock production systems. *Conservation Science and Practice*, *3*(9), p.e495.

CGIAR **Biological nitrogen fixation for increased crop productivity**, enhanced human health and sustained soil fertility. 2004. www.cgiar.org/pdf/cpnitrogen.pdf

CHADWICK, D. R.; CARDENAS, L. M.; DHANOA, M. S., DONOVAN, N.; MISSELBROOK, T.; WILLIAMS, J. R.; THORMAN, R. E.; MCGEOUGH, K. L.; WATSON, C. J.; BELL, M.; ANTHONY, S. G.; REES, R. M. The contribution of cattle urine and dung to nitrous oxide emissions: Quantification of country specific emission factors and implications for national inventories. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 607-617, 2018.

CHANDRAMONI SB, JADHAO CM, TIWARI CM, KHAN MY. (2000). Energy metabolism with Particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations in roughage to concentrate ratio. Animal Feed Science and Technology, 83: 287-300.

CHEN, D.; LI, Y.; TURNER, D.; DENMEAD, T.; FRENEY, J. Measurement and simulation of ammonia volatilization from urea fertilizer in cropping and pasture system. In: Abstracts of Nitrogen 4th Conference, 2007. Costa do Sauípe. **Anais…** Costa do Sauípe - Bahia, Brazil. p. 52. 2007.

CHIRWA, P. W.; BLACK, C. R.; ONG, C. K.; MAGHEMBE, J. A. Tree and crop productivity in gliricidia/maize/pigeonpea cropping systems in southern Malawi. **Agroforestry Systems** 59 (3): 265-277. 2003.

CHIZZOTTI, M. L.; DE CAMPOS VALADARES FILHO, S.; VALADARES, R. F. D.; CHIZZOTTI, F. H. M.; TEDESCHI, L. O. Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle. **Livestock Science**, 113(2-3), 218-225. 2008.

COLOMBATTO, D.; MOULDA, F. L.; BHAT, M. K.; OWEN, E. Influence of exogenous fibrolytic enzyme level and incubation pH on the in vitro ruminal fermentation of alfalfa stems. **Animal Feed Science and Technology**, v. 137, p. 150-162, 2007.

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 102(3): 279-297. 2004.

CUARTAS C. C.; NARANJO, R. J.; TARAZONA, M. A.; MURGUEITIO, R. E.; CHARÁ, O. J.; KU, V. J.; SOLORIO, S. F.; FLORES, E. M. X.; SOLORIO, S. B.; BARAHONA, R. R. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. **Revista Colombiana Ciencia Pecuaria** 27(2):76-94. 2014.

DAGANG, A. B.; NAIR, P. K. R. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. **Agroforestry Systems** 59(2): 149-155. 2003.

DAKORA, F. D.; KEYA, S. O. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. **Soil Biology and Biochemistry** 29(5-6): 809-817. 1997.

DALAL, R. C., WANG, W., ROBERTSON, G. P., & PARTON, W. J. (2003). Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Soil Research**, 41(2), 165-195.

DALZELL, S. A.; SHELTON H. M.; MULLEN, B. F.; LARSEN, P. H.; MCLAUGHLIN, K. G.; Leucaena: **A Guide to Establishment and Management**. Sydney: Meat & Livestock Australia, 70 p. 2006.

DON, G. K. Estimation of net gain of soil carbon in a nitrogen-fixing tree and crop intercropping system in sub-Saharan Africa: results from re-examining a study. **Agroforestry systems** 86 (2): 175-184. 2012.

DREYFUS, B.; DIEM, H.; DOMMERGUES, Y. Future directions for biological nitrogen fixation research. **Plant and soil** 108 (1): 191-199. 1988.

DSCHAAK, C. M.; WILLIAMS, C. M.; HOLT, M. S.; EUN, J. S.; YOUNG, A. J.; MIN, B. R. Effects of supplementing condensed tannin extract on intake, digestion, ruminal fermentation, and milk production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 94(5), 2508-2519. 2011.
DUBEUX JR., J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E; MATTHEWS, B. W.; SCHOLBERG, J. M.; SANTOS, H. Q. Nutrient cycling in warmclimate grasslands. Crop Science, v.47, n.3, p.915-928, 2007. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2006.09.0581>.

DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; INTERRANTE, S. M.; VENDRAMINI, J. M. B.; STEWART, R. L. Litter decomposition and mineralization in bahia grass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, 46(3), 1305-1310. 2006.

DUBEUX, J. R. J. C.; MUIR J. P.; NAIR, P. R.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVA, H. M.; MELLO, A. D. The advantages and challenges of integrating tree legumes into pastoral systems. In: **Proceedings of the 1st International Conference on Forages in Warm Climates.** Lavras: Universidade Federal de Lavras - MG, (pp. 141-164). 2015.

EAGLESHAM, A. R. J.; AYANABA, R.; RAO, R. V.; ESKEW, D. L. Improving the nitrogen nutrition of Maize by intercropping with cowpea. **Soil Biology and Biochemistry** 13: 169-171. 1981.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: a review. **Livestock science**, 130(1-3), 47-56. 2010.

FAGBOLA, O.; OSONUBI, O.; MULONGOY, K. Contribution of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and hedgerow trees to the yield and nutrient uptake of cassava in an alley-cropping system. **The Journal of Agricultural Science** 131 (1): 79-85. 1998.

FAO Be the solution to soil pollution. **Global Symposium on soil Pollution**. FAO. Rome, Italy. 2018.

FAO **Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12**. Rome, Italy. 2008.

FAO **El estado mundial de la agricultura y la alimentación**, Rome Italy. 2020.

FAO **FishStatJ-Software for Fishery Statistical Time Series** (Rome: Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations) www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en(release data March 2013). 2013.

FAO **Livestock:** Policy Brief, cattle ranching and deforestation. http://www.fao.org/3/a-a0262e. 2012.

FAO **Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production - A review of technical options for non-CO_2 emissions**. Rome, Italy.

FAO/ECLAC Food and Agriculture Organization of the United Nations/Economic Commission for Latin America and the Caribbean. **Food systems and COVID-19 in Latin America and the Caribbean:** food consumption patterns and malnutrition. Bulletin, No. 10, July [online] https://www.cepal.org/en/ publications/45795-food-systems-and-covid-19-latin-america-and-caribbean-ndeg-10-food-consumption. 2020.

FAO/HLPE **Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition**. FAO/HLPE Report 14. Rome, Italy. 2019.

FAOSTAT **Food and Organization of the United Nations, Statistics Division**. http://faostat3.fao.org/home. 2014.

FARÍA, J.; CHIRINOS, Z.; MORILL, D. E. Efecto de la sustitución parcial del alimento concentrado por pastoreo con Leucaena leucocephala sobre la producción y características de la leche y variación de peso de vacas mestizas. **Zootecnia Trop**., 25(4): 245-251. 2007.

FERREIRA, M. A.; SILVA, F. A.; BISPO, S. V.; AZEVEDO, M. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 322-329, 2009.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON E. A. Microbiological bases of NO and N_2O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; JOHN, S. D. S. (Eds): **Exchange of trace gases between terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. Wiley & Sons, NY. 1989.

FOROUGHBAKHCH, R.; HERNÁNDEZ-PIÑERO, J. L.; RAMIREZ, R.; ALVARADO, M. A.; GONZALEZ DE LEON, O. A.; ROCHA, A.; BADII, M. H. Seasonal dynamics of the leaf nutrient profile of 20 native shrubs of Northeastern Mexico. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 6, p. 1000-1005, 2007.

FORRESTER, D.; BAUHUS, J.; KHANNA, P. K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management** 193: 81-95. 2004.

FRANCO, A. A.; DE FARIA, S. M. The contribution of N_2-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry** 29 (5-6): 897-903. 1997.

FRUTOS, P.; HERVAS, G.; GIRÁLDEZ, F. J.; MANTECÓN, A. R. Tannins and ruminant nutrition. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 2(2), 191-202. 2004.

GARCÍA, E. **Climas clasificación de Köopen**. México, DF: CONABIO. 1996.

GARCIA, G. W.; FERGUSON, T. U.; NECKLES, F. A.; ARCHIBALD, K. A. E. The nutritive value and forage productivity of Leucaena leucocephala. **Animal Feed Science Technology**, v. 60, p. 29-41, 1996.

GARCÍA, M.; SÁNCHEZ, C. *Leucaena leucocephala* como fuente proteica alimenticia en la ganadería bovina doble propósito. Simposio-taller: experiencias en agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA. **Anales…** 2006. Disponível em: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/agroforesteria/articulos%20pdf/garcia_mercedes.pdf. Acesso em 22/06/2009.

GATHUMBI, S. M.; CADISCH, G.; BURESH, R. J.; GILLER, K. E. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. **Soil Science Society of America Journal** 67 (2): 573-582. 2003.

GERBER, P.J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A. AND TEMPIO, G. **Tackling climate change through livestock:** a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013.

GILL, F. L.; DEWHURST, R. J.; EVERSHED, R. P.; MCGEOUGH, E.; O'KIELY, P.; PANCOST, R. D.; BULL I. D. Analysis of archaeal ether lipids in bovine faeces. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 87-92, 2011.

GILLER, K. E.; CADISCH, G. Future benefits from biological nitrogen fixation: an ecological approach to agriculture. In Management of biological nitrogen fixation for the development of more productive and sustainable agricultural systems. **Springer**, Dordrecht. pp. 255-277. 1995.

GILLER, K. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2 ed. Wallinford: CABI publishing, pp. 222-250. 2001.

GILLER, K.; BEARE, M.; LAVELLE, P.; IZAC, A.; SWIFT, M. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. **Applied Soil Ecology** 6 (1): 3-16. 1997.

GOH, K.; MANSUR, I.; MEAD, D.; SWEET, G. Biological nitrogen fixing capacity and biomass production of different understorey pastures in a Pinus radiata-pasture agroforestry system in New Zealand. **Agroforestry systems** 34 (1): 33-49. 1996.

GONZALEZ-GARCIA, E.; CACERES, O.; ARCHIMEDE, H.; SANTANA, H. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. **Agroforest Systems**, v. 77, p. 131-141, 2009.

GONZÁLEZ-TORRES, A.; FIGUEROA-VIRAMONTES, U.; DELGADO, J. A.; NÚÑEZ-HERNÁNDEZ, G.; CUETO-WONG, J. A.; PRECIADO-RANGEL, P.; PALOMO-GIL, A. Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. **Terra Latinoamericana**, 27(4), 303-309. 2009.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research** 65 (2-3): 93-106. 2000.

GRAHAM, P. H; VANCE, C. P. Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant physiology** 131 (3): 872-877. 2003.

GRANDE, D.; DE LEON, F.; NAHED, J.; PEREZ, G. F. (2010) Importance and Function of Scattered Trees in Pastures in the Sierra Region of Tabasco, Mexico. **Research Journal of Biological Sciences** 5 (1): 75-87. 2010.

GREENLAND, D. J. Bringing the green revolution to the shifting cultivator. **Science** 190 (4217): 841-844. 1975.

GUEVARA, S.; LIRA-NORIEGA, A. De los pastos de la selva a la selva de los pastos: la introducción de la ganadería en México. **Pastos**, v. 34, p. 109-150, 2004.

GURIAN-SHERMAN, D. **Raising the steaks:** global warming and pasture-raised beef production in the United States. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA, USA. 45 p. 2011.

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, 73, 65-108. 2001.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

HERRERO, M.; PETR, H.; HUGO, V.; AN NOTENBAERT, M. C. R.; PHILIP, K.; THORNTON; MICHAEL, B.; FRANZ, W.; DELIA, G.; MICHAEL, O. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110 no. 52: 20888-20893. 2013.

HERRERO, M.; PETR HAVLÍK, H. V.; AN NOTENBAERT, M. C.; RUFINO, P. K.; THORNTON, M. B.; FRANZ WEISS, D. G.; OBERSTEINER, M. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, no. 52: 20888-20893. 2013.

HESS, H. D.; MONSALVE, L. M.; CARULLA, J. E.; LASCANO, C. E.; DÍAZ, T. E.; KREUZER, M. **In vitro evaluation of the effect of *Sapindus saponaria* on methane release and microbial populations** (1.4.1). URL: http://www.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/ output1_2002.pdf. 2002.

HUMPHREYS, J.; MIHAILESCU, E.; CASEY, I. A. An economic comparison of systems of dairy production based on N fertilized grass and grass-white clover grassland in a moist maritime environment. **Grass Forage Sci.** 67: 519-525. 2012.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA**, Pesquisa Pecuária Municipal. Disponível em www.ibge.gov.br. Acesso em Jan/2019.

IFA, IFDC, IPI, PPI, FAO **Fertilizer Use by Crop**. Rome: Food and Agriculture Organization. 2002.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Temas, Agricultura, Ganadería y Pesca, **Ganadería**. Disponível em: https://www.inegi.org.mx/temas/ganaderia/. Acesso em jan/2019.

IPCC **Climatic Change 2007:** Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC). Technical Summary. WMO-UNEP. Cambridge: Cambridge University Press. p. 852. 2007.

IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. **Greenhouse Gas Inventory Reference Manual**, 4. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Available at: http://www.ipccnggip. iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html. 2006.

IPCC **Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC). Technical Summary. WMO-UNEP. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.

JANTALIA, C. P.; TERRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas:** impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. p. 157-170. Porto Alegre: Genesis, 2006.

JAYASUNDARA, H.; DENNETT, M.; SANGAKKARA, U. Biological nitrogen fixation in *Gliridia sepium* and *Leucaena leucocephala* and transfer of fixed nitrogen to an associated grass. **Tropical Grasslands**, 31(6):529-537. 1997.

JENSEN, E. S.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M.; GRESSHOF, P. M.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; ALVES, B. J. R.; MORRISON, M. J. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 329-364. 2012.

JIMÉNEZ, T. J.; IBRAHIM, M.; PEZO, D.; GUEVARA, H. F.; GÓMEZ, C. H.; NAHED TORAL, J.; PINTO, R. Comparison of animal productivity and profitability between a silvopastoral system (*Brachiaria brizanta* associated with *Leucaena leucocephala*) and a conventional system (*B. brizantha* + chicken manure). **Research Journal of Biological Science** 6 (2): 75-81. 2011.

JOHNSON, C. R.; REILING, B. A.; MISLEVY, P.; HALL, M. B. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 2439-2448, 2001.

KAMARA, A. Y.; AKOBUNDU, I. O.; SANGINGA, N.; JUTZI, S. C.; Effect of mulch from selected multipurpose trees (MPTs) on growth, nitrogen nutrition and yield of maize (*Zea mays* L.). **Journal of agronomy and crop science** 184 (2): 73-80. 2000.

KHANNA, P. K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management** 94:105-113. 1997.

KU, V. J. C.; AGUILAR, P. C.; AYALA, B. A.; SOLORIO, S. F.; RAMÍREZ, A. L.; BRICEÑO, P. E. Alternativas nutricionales para incrementar la productividad y la calidad de la carne y de la leche de los rumiantes en el trópico. In: XXXVI Congreso Nacional de Buiatria, Mérida, Yucatán. 2012. **Anais…** Mérida, Yucatán: CNB, 2012.

KU, V. J.; BRICEÑO, E.; RUIZ, A.; MAYO, R.; AYALA, A.; AGUILAR, C.; SOLORIO, F. J.; RAMÍREZ, L. Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for

improving meat and milk production and quality. **Cuban Journal of Agricultural Science** 48 (1): 43-53. 2014.

KURPPA, M.; LEBLANC, H.; NYGREN, P. Detection of nitrogen transfer from N_2-fixing shade trees to cacao saplings in 15N labelled soil: ecological and experimental considerations. **Agroforestry systems** 80 (2): 223-239. 2010.

KU-VERA, J. C; CASTELÁN-ORTEGA, O. A; GALINDO-MALDONADO, F. A ; ARANGO, J; CHIRINDA, N; JIMÉNEZ-OCAMPO, R; VALENCIA-SALAZAR, S. S; FLORES-SANTIAGO, E. J; MONTOYA-FLORES, M. D; MOLINA-BOTERO, I. C; PIÑEIRO-VÁZQUEZ, A. T; ARCEO-CASTILLO, J. I; AGUILAR-PÉREZ, C. F; RAMÍREZ-AVILÉS, L; SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J. 2020. Review: Strategies for enteric methane mitigation in cattle fed tropical forages. Animal. 14(3), https://doi.org/10.1017/S1751731120001780.

LEE, J.; TWARDOCK, A. R.; BUBAR, R. H.; HALL, J. E.; DAVIS, C. L. Blood metabolic profiles: Their use and relation to nutritional status of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 61, p. 1652-1670, 1978.

LENNÉ, J. M.; THOMAS, D. Integrating Crop-Livestock Research and Development in Sub-Saharan Africa: Option, Imperative or Impossible? **Outlook on Agriculture** 35 (3): 167-175. 2006.

LESSA, A. C. R.; MADARI, B. E.; PAREDES, D. S.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 190, 104-111. 2014.

LIU, Y.; PAN, X.; LI, J. A 1961-2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. **Agronomy for Sustainable Development** 35(1): 83-93. 2015.

LIYANAGE, M. S.; DANSO, S.; JAYASUNDARA, H. Biological nitrogen fixation in tour *Gliricidia sepium* genotypes. **Plant and Soil**, 161(2):267-274. 1994.

LONGO, C.; NOZELLA, E. F.; CABRAL FILHO, S. L. S., LAVORENTI, N.; VITTI, D. M. S. S.; ABDALLA, A. L. Voluntary intake, apparent digestibility and nitrogen balance by sheep supplemented with *Leucaena leucocephala*. **Livestock Research for Rural Development**, v. 20, p. 1-11, 2008.

MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; REZENDE, C. D. P.; PEREIRA, J. M.; CADISCH, G.; BODDEY, R. M. Forage intake and botanical composition of feed for cattle fed *Brachiaria*/legume mixtures. **Scientia Agricola**, 67(4), 384-392. 2010.

MAFONGOYA, P.; GILLER, K.; ODEE, D.; GATHUMBI, S.; NDUFA, S.; SITOMPUL, S. Benefiting from N_2-fixation and managing rhizobia. In: NOORDWIJK, V.; CADISCH, G.; ONG, C. K. (Eds.) **Below-ground interactions in tropical agroecosystems**. Concepts and models with multiple plant components. Wallingford, UK: CABI. pp. 227-242. 2004.

MAFONGOYA, P. L., GUILLER, K.E. AND PALM, C. A. Decomposition and nutrient release pattern of pruning and litter of agroforestry tree. **Agrof. Syst.** (38): 77-97. 1997.

MANZONI, S.; JACKSON, R. B.; TROFYMOW, J. A.; PORPORATO, A. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. **Science**, 321(5889), 684-686. 2008.

MARTHA, G.; ALVES, B. J. R.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 110, p. 173-177, 2012.

MAYO, E. R.; UTRILLA, M.; AGUILAR, P. C.; SOLORIO, S. F.; AYALA, B. A.; BRICEÑO, P. E.; RAMÍREZ, A. L.; KU, V. J. Productive performance of growing cattle grazing a silvopastoral system with *Leucaena leucocephala*. In: 22nd International Grasslands Congress. Sydney. 2013. **Annals…** Sidney, pp. 15-19, 2013.

MAZZETTO, A.M., BARNEZE, A.S., FEIGL, B.J., VAN GROENIGEN, J.W., OENEMA, O., CERRI, C.C. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 76, p. 242-248, 2014.

MCALLISTER, C. H.; BEATTY, P. H.; GOOD, A. G. Engineering nitrogen use efficient crop plants: the current status. **Plant biotechnology journal** 10 (9): 1011-1025. 2012.

MCCAUGHEY W, WITTENBERG K, CORRIGAN D. Impact of pasture type on methane production by lacting beef cows. **Can J An Sc**, 79 (2): 221-226. 1999.

MCSWEENEY, C. S.; PALMER, B.; MCNEILL, D. M.; KRAUSE, D. O. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminant. **Animal Feed Science Technology** 91, pp. 83-93. 2001.

MEENA, R. S.; LAL, R. Legumes and Sustainable Use of Soils. In: **Legumes for Soil Health and Sustainable Management** pp. 1-31. Singapore: Springer. 2018.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems** 15 (3): 401-415. 2012.

MERCADO, J. A. R.; VAN, N. M.; CADISCH, G. Positive nitrogen balance of *Acacia mangium* woodlots as fallows in the Philippines based on 15N natural abundance data of N_2 fixation. **Agroforestry systems** 81 (3): 221-233. 2011.

MISSELBROOK, T. H.; POWELL, J. M. Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. **Journal of Dairy Science**, 88(12), 4304-4312. 2005.

MONTENEGRO J, ABARCA S. (2000). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra.. 334 p.

MORALES, R.; UNGERFELD, E. M. Use of tannins to improve fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: A review. **Chilean Journal of Agricultural Research**, 75(2), 239-248. 2015.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. **Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils:** sources, sinks and mechanisms - Tropical Agriculture in Transition - Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions? (pp. 11-49). Springer Netherlands. 2004.

MOSS, A.R.; JOUANY J. P.; NEWBOLD J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. INRA EDP Sciences. **Ann Zootech**, 49: 231-253. 2000.

MTHEMBU, B. E.; EVERSON, C. S.; EVERSON, T. M. Tree legumes-temperate grass agroforestry system effects on inorganic soil nitrogen as ecosystem services provision for smallholder farming systems in South Africa. **Journal of Crop Improvement**, 32 (2): 141-155. 2018.

MURGUEITIO, E.; BARAHONA, R.; CHARÁ, J.; FLORES, M.; MAURICIO, R.; MOLI, J. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. Los Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina alternative sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. **Cuban Journal of Agricultural Science** 49 (4): 541. 2015.

MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management** 261(10): 1654-1663. 2011.

MURGUEITIO, R.; CHARÁ, J.; SOLARTE, A.; URIBE, F.; ZAPATA, C.; RIVERA, J. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias** (26): 313-316. 2013.

MYERS, W. D.; LUDDEN, P. A.; NAYIGIHUGU, V.; HESS, B. W. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, 82(1), 179-183. 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academies Press. 2001.

OENEMA, O.; VELTHOF, G. L.; YAMULKI, S.; JARVIS, S. C. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. **Soil use and Management**, 13, 288-295. 1997.

OENEMA, O.; WRAGE, N.; VELTHOF, G. L.; VAN GROENIGEN, J. W.; DOLFING, J.; KUIKMAN, P. J. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 72(1), 51-65. 2005.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, C. H. B.; VILELA, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Response of degraded pastures in the Brazilian Cerrado to chemical fertilization. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 23, n.1, p. 14-18. 2001.

PARROTA, J. A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephal*a in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management** 124: 45-77. 1999.

PARSONS, R. Plant - Microbe Metabolism. **Revista Científica UDO Agrícola** 4 (1):1-20. 2004.
PELLETIER N.; TYEDMERS, P. Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050. **PNAS** 107 (43): 18371-18374. 2010.

PEOPLES, M.; BROCKWELL, J.; HERRIDGE, D.; ROCHESTER, I.; ALVES, B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.; DAKORA, F.; BHATTARAI, S.; MASKEY, S.; SAMPET, C.; RERKASEM, B.; KHAN, D.; HAUGGAARD, N. H.; JENSEN, E. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. **Symbiosis** 48: 1-17. 2009.

PEOPLES, M.; HERRIDGE, D. Qualification of biological nitrogen fixation in agricultural system. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, G.; NEWTON, W. (eds). **Nitrogen Fixation:** From Molecular to Crop Productivity. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 519-24. 1999.

PEREIRA, O. J. R.; FERREIRA, L. G.; PINTO, F.; BAUMGARTEN, L. Assessing pasture degradation in the Brazilian Cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. **Remote Sensing**, v. 10, p. 1761. 2018. doi:10.3390/rs10111761.

PORDOMINGO, A. J., VOLPI LAGRECA, G., PILAR, G., GRIGIONI, G. Efecto del agregado de taninos en dietas de distinto nivel de grano en vaquillonas para carne alimentadas en confinamiento sobre la calidad de la carne. **Boletín Técnico**, 88(14). 2004.

RAZZ, R., CLAVERO, T., COMBELLAS, J., RUÍZ, T. Respuesta productiva y reproductiva de vacas doble propósito suplementadas con concentrado pastoreando *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. **Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias**, 14(6), 526-530. 2004.

REED, K. F.; MORAES, L. E.; CASPER, D. P.; KEBREAB, E. Predicting nitrogen excretion from cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 98, p. 3025-3035, 2015.

REIDY, B. B.; RHIM, H.; MENZI, A new Swiss inventory of ammonia emissions from agriculture based on a survey on farm and manure management and farm-specific model calculations. **Atmos. Environ.** 42:3266-3276. 2007.

RERKASEM, B.; RERKASEM, K.; PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F.; BERGERSEN, F. J.; Measurement of nitrogen in maize (*Zea mays* L.) – rice bean (*Vigna umbellate* (Thunb) Ohui and Ohashi) intercrop. **Plant and Soil** 1 08: 125-135. 1988.

REZENDE, C. D. P.; CANTARUTTI, R. B.; BRAGA, J. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; CADISCH, G. Litter deposition and disappearance in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 54(2), 99-112. 1999.

RIVERA-HERRERA, J. E.; MOLINA-BOTERO, I.; CHARÁ-OROZCO, J.; RESTREPO, E. M., BARAHONA-ROSALES, R. Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: productive alternative in the tropic in view of the climate change. **Pastos y Forrajes**, Vol. 40, p. 159-170, 2017.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 51-63, 2004.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; BELANGER, G.; CHANTIGNY, M.; PREVOST, D.; LEVESQUE, G. Emissions of nitrous oxide from alfalfa and soybean crops in eastern Canada. **Soil Science Society of America Journal** 68: 493-506. 2004.

ROCHON, J. J., DOYLE, C. J., GREEF, J. M., HOPKINS, A., MOLLE, G., SITZIA, M., SMITH, C. J. Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. **Grass and Forage Science**, 59(3), 197-214. 2004.

RODRIGUES, A.; SILVEIRA, J.; BONIFACIO, A.; FIGUEIREDO, M. Metabolism of nitrogen and carbon: Optimization of biological nitrogen fixation and cowpea development. **Soil Biology and Biochemistry** 67: 226-234. 2013.

ROTHE, A.; BINKLEY, D. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. **Canadian Journal of Forest Research** 31: 1855-1870. 2001.

SAGGAR, S., ANDREW, R. M., TATE, K. R., HEDLEY, C. B., RODDA, N. J., TOWNSEND, J.A., (2004). Modelling nitrous oxide emissions from New Zealand dairy grazed pastures. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 68, 243-255.

SANCHEZ, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems** 30: 5-55. 1995.

SANTOS, R. S. M. DOS; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Avaliação da produtividade primária aérea líquida de três espécies de Brachiaria sob diferentes taxas de lotação. In: ALVES, B. J. R. URQUIAGA; S., AITA, C., BODDEY, R. M., JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. **Manejo de Sistemas Agrícolas:** Impacto no Seqüestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Porto Alegre: Genesis. pp. 133-156. 2006.

SARABIA-SALGADO L. **Efecto de la frecuencia de poda en *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum* sobre la fijación y transferencia de nitrógeno atmosférico en sistemas silvopastoriles intensivos**. Tesis sometida para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México. 2013.

SCHINDLBACHER, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO_2, and N_2O emissions from European forest soils. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 109(D17). 2004.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M. R. L.; BARROS, E.; MACÊDO, J. L. V.; Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems** 53: 85-102. 2001.

SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. Impact of Trees on the Fertility of Agricultural Soils. In: **Trees, Crops and Soil Fertility:** Concepts and Research Methods. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003.

SHEARER, G.; KOHL, D. H. N_2 fixation in field settings: estimations based on natural 15N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.13, p.699-756. 1986.

SIERRA, J.; DAUDIN, D.; DOMENACH, A.; NYGREN, P. Desfontaines Nitrogen transfer form signature of tree to the associated grass estimated by the isotopic signature of tree root exudates: A comparison of the ^{15}N leaf feeding and natural ^{15}N abundance methods. **European Journal of Agronomy** 27(2): 178-186. 2007.

SILVEIRA, M.; VENDRAMINI, J.; HOGUE, P.; SELPH, J. **Dealing with high fertilizer costs in forage production systems**. Flórida: UF/IFAS Extension, University of Florida. 2013.

SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. Two categories of 13C/12C ratios for higher plants. **Plant Physiology**, v. 47, p. 380-384, 1971.

SOLORIO, S. F. **Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non-leguminous shrubs.** [Doctoral thesis]. Institute of Atmospheric and Environmental Science. University of Edinburgh. 2005.

SOLORIO, S. F.; BACAB, P. H.; CASTILLO, C. J.; RAMÍREZ, A. L.; CASANOVA, L. F.; Potencial de los Sistemas Silvopastoriles en México. II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. México. **Anales…** México, pp. 21-30. 2009.

SOLORIO, S. F.; SOLORIO S. B.; CASANOVA L. F.; RAMÍREZ, A. L.; AYALA, B. A.; KU, V. J.; AGUILAR, P. C. Situación actual global de la investigación y desarrollo tecnológico en el establecimiento, manejo y aprovechamiento de los sistemas silvopastoriles intensivos. En: SOLORIO, S. F. J.; SÁNCHEZ, B. C.; KU, V. J. (eds.), **Memorias del IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos.** Morelia, México: Fundación Produce Michoacán, Universidad Autónoma de Yucatán. 2012.

SOLORIO, S.; BASU, S.; SARABIA, S.; AYALA, B.; RAMÍREZ, A.; AGUILAR, P.; ERALES, V.; KU, V.; WRIGHT, J. The potential of silvopastoral systems for milk and meat organic production in the tropics. In: NANDWANI, D. (Ed). **Organic Farming for Sustainable Agriculture**. Springer International Publishing Switzerland 169-183. 2016.

SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J. **Soil fertility and nutrient cycling in pure and mixed fodder bank systems using leguminous and non-leguminous shrubs.** Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the School of GeoSciencies, Institute of Atmospheric and Environmental Science. University of Edinburgh. 2005.

SOMMER, S.; SCHJOERRING, J.; DENMEAD, O. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. **Adv. Agron.** 82:558-622. 2004.

SOMMER, S. G.; HUTCHINGS, N. J. Ammonia emission from field applied manure and its reduction. **Eur. J. Agron.** 15, 1-15. 2001.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T. D.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. Livestock's long shadow: environmental issues and options. **Food & Agriculture Org.** 2006.

STOCKDALE, E.; LAMPKIN, N.; HOVI, M.; KEATINGE, R.; LENNARTSSON, E.; MACDONALD, D.; PADEL, S.; TATTERSALL, E.; WOLFE, M.; WATSON, C. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. **Advances in Agronomy** 70: 261-327. 2001.

STOCKING, M. A. Tropical Soils and Food Security: The Next 50 Years. **Science** 302: 1356-1359. 2003.

STURLUDÓTTIR, E. **Forage Quality and Yield in Grass-Legume Mixtures in Northern Europe and Canada.** [Master's thesis]. Faculty of Physical Sciences, University of Iceland. 2011.

TESSEMA, Z.; BAARS, R. Chemical composition, dry matter production and yield dynamics of tropical grasses mixed with perennial forage legumes. **Tropical Grasslands** 40 (3): 150-156. 2006.

THILAKARATHNA M. S.; MCELROY, M. S.; CHAPAGAIN, T.; PAPADOPOULOS, Y. A.; RAIZADA, M. N. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development** 36 (4):58. 2016.

THOMAS, R. J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. **Grass and forage science**, 47(2), 133-142. 1992.

THORNTON P. K.; VAN DE STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems** 101(3):113-127. 2009.

THORNTON, P. K.; HERRERO, M. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 107(46), 19667-19672. 2010.

TINOCO-MAGAÑA, J. C., AGUILAR-PÉREZ, C. F., DELGADO-LEÓN, R., MAGAÑA-MONFORTE, J. G., KU-VERA, J. C., HERRERA-CAMACHO, J. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. **Tropical animal health and production**, 44(5), 1073-1078. 2012.

UNKOVICH, M. D.; HERRIDGE, M.; PEOPLES, G.; CADISCH, B.; BODDEY, K.; GILLER, B. A.; CHALK, P. **Measuring plant associated nitrogen fixation in agricultural systems**. ACIAR Monograph N° 136.258 p. 2008.

VALDIVIA, S. V. **Metabolismo del nitrógeno y función ruminal en vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala***. Universidad Autónoma de Yucatán.; 2006 (Doctoral dissertation, PhD Thesis] Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México). 2006.

VAN GROENIGEN, J. W.; VELTHOF, G. L.; VAN DER BOLT, F. J.; VOS, A.; KUIKMAN, P. J. Seasonal variation in N_2O emissions from urine patches: effects of urine concentration, soil compaction and dung. **Plant and Soil**, 273(1-2), 15-27. 2005.

VAN NOORDWIJK, M.; DOMMERGUES, Y. R. Root Nodulation: the twelfth hypothesis. **Agroforestry Today**, 3(3): 9-10. 1990.

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

VAN, K. C.; HARTLEY, C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? **Field Crop Research** 65: 165-181. 2000.

VENDRAMINI, J.; SILVEIRA, M.; DUBEUX, J. R. C.; SOLLENBERGER, L. E. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia** 36: 139-149. 2007.

WACHENDORF, C.; LAMPE, C.; TAUBE, F.; DITTERT, K. Nitrous oxide emissions and dynamics of soil nitrogen under 15N-labeled cow urine and dung patches on a sandy grassland soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**,171(2), 171-180. 2008.

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest Ecosystems:** Concepts and Management. New York: Academic Press, 1985.

WERNECK, C. G. **Perdas por volatilização e eficiência agronômica da mistura de uréia com zeolita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa* spp.).** 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2008.

WILLIAMS, D. R.; ALVARADO, F.; GREEN, R. E.; MANICA, A.; PHALAN, B.; BALMFORD, A. Land-use strategies to balance livestock production, biodiversity conservation and carbon storage in Yucatán, Mexico. **Global Change Biology** 23 (12): 5260-5272. 2017.

XAVIER, D. F.; DA SILVA LÉDO, F. J.; DE CAMPOS PACIULLO, D. S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Nitrogen cycling in a *Brachiaria* based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 99(1-3), 45-62. 2014.

XAVIER, D. F.; DA SILVA LÉDO, F. J.; DE CAMPOS PACIULLO, D. S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Nitrogen cycling in a *Brachiaria* based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 99(1-3), 45-62. 2015.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C.; OWE, P. Methane emission and uptake from soils as influenced by excreta deposition from grazing animals. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, p. 676-682, 1999.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C.; OWEN, P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated grazing pattern. **Soil Biology Biochemistry** 30:491-500. 1998.

YAN, T.; FROST, J. P.; AGNEW, R. E.; BINNIE, R. C.; MAYNE, C. S. Relationships among manure nitrogen output and dietary and animal factors in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 89, p. 3981-3991, 2006.

YENIGÜN, O.; DEMIREL, B. Ammonia inhibition in anaerobic digestion: A review. **Process Biochemistry**, v. 48, p. 901-911, 2013.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2nd edition. Wallingford, UK: CAB International, 1997.

ZANINETTI, R. A.; REIS, R. A.; BERTIPAGLIA, L. M. A.; MELO, G. M. P. DE; OLIVEIRA, A. P.; BERCHIELLI, T. T. Degradação in situ da matéria seca e da fração fibrosa do capim marandu obtido por diferentes métodos de amostragem, no período seco do ano. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(3), 603-609. 2010.

ZUÑIGA, F. B.; PALACIO, A. G. (Eds.) **Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán**: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Mexico, DF: Universidad Autonoma de Campeche, University Autonoma de Yucatan, e Instituto Nacional de Ecologia, 2005.