



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE – PPGAA**

**THAÍS SANTOS FIGUEIREDO**

**POTENCIAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA  
AGROSSILVIPASTORIL COM LEGUMINOSA ARBÓREA, NO TRÓPICO ÚMIDO  
- MA**

Balsas - MA  
2022

**THAÍS SANTOS FIGUEIREDO**

**POTENCIAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA  
AGROSSILVIPASTORIL COM LEGUMINOSA ARBÓREA, NO TRÓPICO  
ÚMIDO – MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário

Balsas - MA  
2022

Figueiredo, Thaís Santos.

Potencial da adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril / Thaís Santos  
Figueiredo. – Balsas, MA, 2022.

84 f

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente,  
Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz.

**THAÍS SANTOS FIGUEIREDO**

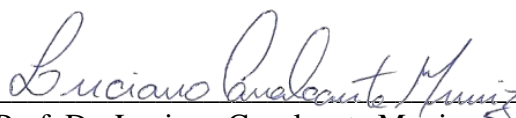
**POTENCIAL DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SISTEMA  
AGROSSILVIPASTORIL COM LEGUMINOSA ARBÓREA, NO TRÓPICO  
ÚMIDO - MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário

Aprovado em: 14/02/2022



---

Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Orientador

Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



---

Dr. Hiran Marcelo Siqueira da Silva

Membro 1

University of Florida – UF



---

Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello

Membro 2

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Balsas - MA

2022

*A Deus, pelo dom da vida!*

*Aos meus pais, Luzanilo Rodrigues Lima (in memorian) e Rosângela Martins Lima.*

*As minhas irmãs, que são minhas referências para toda vida, Liana Rêgo Lima e Luzandra Rêgo Lima.*

**DEDICO**

*Mesmo quando eu andar por um vale de trevas e morte, não temerei perigo algum, pois Tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me protegem.*

Salmo 23:4

*A grande glória da vida não está em nunca cair, mas em se levantar a cada vez que caímos.*

Nelson Mandela

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que, mais uma vez, me fortaleceu para que chegasse ao fim desse desafio. Obrigada meu Pai!

A toda minha família, principalmente meus pais, Luzaniro Rodrigues Lima (*in memoria*) e Rosângela Martins Lima, que acreditaram e me apoiaram dando suporte em tudo que me propus a fazer e minhas irmãs, Liana Rêgo Lima e Luzandra Rêgo Lima, que são minhas referências de vida, obrigada por todo respeito e união. À vocês todo o meu amor e gratidão!

Ao meu Orientador, Luciano Cavalcante Muniz, que desde de 2017 me concedeu oportunidades únicas, obrigada pelos ensinamentos, confiança e por sempre está disposto a ajudar.

A minha Coorientadora Valéria Xavier de Oliveira Apolinário, que tenho como inspiração e imensa gratidão, respeito e admiração, obrigada por acreditar em mim, por sempre estar presente, pela paciência, conselhos e incentivo desde o início.

Ao Dr. Joaquim Bezerra Costa e a Dr<sup>a</sup> Ana Maria Herrera Angulo, por todo suporte, contribuições e correções diretas para o enriquecimento deste trabalho.

A todo Grupo de Inovações em Sistemas de Integrados de Produção (GINTEGRA), pelo privilégio de trabalhar e aprender cada vez mais, e a certeza de laços de amizade que irão permanecer, em especial a Karol Carvalho, Raabe Sousa, Erika Corrêa, Gislayne Barcelos, Jossanya Castro e Natanael Vilhena sem vocês nada seria possível.

Ao meu amigo, Luís Raifere, do laboratório de Pós-colheita (LAPOC), pela amizade e suporte que contribuiu com esta pesquisa.

A UEMA, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, pela oportunidade de realização do curso.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudo concedida durante o curso.

A Universidade da Flórida, especialmente ao Professor José Carlos Dubeux Júnior, que contribuiu com a realização dessa pesquisa.

Enfim, quero agradecer a todos que direta e indiretamente fizeram parte dessa etapa importante em minha vida.

Muito Obrigada!

## RESUMO

Leguminosas arbóreas, que fazem fixação biológica de nitrogênio tem potencial de aumentar a diversidade de produtos e renda, e e reduzir a dependência por insumos químicos em sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se quantificar as biomassas e nutrientes do capim massai (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Massai) e da sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) e estimar as abundâncias naturais de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminosa arbórea, sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril. O delineamento experimental foi casualizado em blocos, com três repetições. Cada bloco de 1 ha foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelorados, com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, permanecendo dois animais por piquete. Na sabiá foi avaliado o stand de plantas, comprimento do fuste (CF), diâmetro na base (DB), diâmetro na altura do peito (DAP), altura de Lorey (hL) e volume, biomassa da folhas e galhos finos, médios e grossos (GF, GM e GG)], densidade da base e no diâmetro do peito (DB e DAP, nessa ordem), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), nitrogênio (N), carbono (C), relação C:N, fibra em detergente ácido (FDA), lignina (Lig) e relação Lig:N, abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e nitrogênio derivado da atmosfera (N<sub>dda</sub>). No massai foi avaliado a massa de forragem total (MFT), densidade da forragem (DF), PB e MM da forragem verde (PBFV; MMFV) e senescente (PBFS; MMFS), além das variáveis relativas aos animais [taxa de lotação (TL), ganho médio diário (GMD) e ganho médio por área (GPA)]. Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Na sabiá só houve significância ( $P > 0,05$ ) entre os níveis de adubação para  $\delta^{15}\text{N}$ , que foi maior nos tratamentos de 200 e 400 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com 1,04 e 1,73 ‰ respectivamente. O N<sub>dda</sub> foi maior nos tratamentos de 0 (76,77%) e 100 (56,84%) kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Ocorreu uma redução de 8% no stand da sabiá da primeira para segunda avaliação. O DB, DAP, CF, hL e vol aumentaram 13, 17, 40, 40 e 80% entre os dois períodos de avaliação. A biomassa das folhas e e os GF, GM e GG aumentaram 796, 48, 67 e 78%, entre as avaliações, respectivamente. A densidade do DB e DAP aumentaram 14 e 40%, nessa ordem, entre as avaliações. A MM, PB e C:N nas folhas aumentaram 66 e 28 e 50% respectivamente, entre as avaliações, enquanto o C, Lig:N e FDA reduziram 29, 80 e 26%. Nos GF a MM e C:N reduziram 26 e 24%. Nos GM o N aumentou 17% e, nos GG o C reduziu 6%, a MM e N aumentaram para 33 e 17%, entre as avaliações. No massai, a MFT variou de 552 (ago/2020) a 2216 kg ha<sup>-1</sup> (fev/2021). A DF variou de 14 (dez/2020) a 84 a kg de MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (fev/2021). As concentrações de PBFV variaram de 83 (out/2020) a 118 g kg<sup>-1</sup> (mar/2021). A MMFV diferiu apenas no mês de março e abr/2020 com 124 e 127 g kg<sup>-1</sup>. A TL variou de 3,4 a 5,1 UA ha<sup>-1</sup> entre jun/2020 e fev/2021. O GMD e GPA foram maiores nos períodos com maior precipitação, com variações de 0,03 kg PC dia<sup>-1</sup> e 0,1 kg PC ha<sup>-1</sup> para 0,75 kg PC dia<sup>-1</sup> e 3,4 kg PC ha<sup>-1</sup> nos meses de ago/2020 e abr/2021, respectivamente. Os níveis de adubação nitrogenada não a biomassa e nutrientes do capim massai e sabiá. Os menores níveis de adubação (0 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) proporcionaram maior fixação de N derivado da atmosfera. Portanto a adubação nitrogenada não contribui para um maior desenvolvimento da sabiá.

**Palavras-chave:** intensificação, fixação biológica de nitrogênio, produção de forragem



## ABSTRACT

Tree legumes that perform biological nitrogen fixation have the potential to increase product diversity and income, and reduce dependence on chemical inputs in agrosilvopastoral systems. The objective was to quantify the biomass and nutrients of massai grass (*Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai) and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) and to estimate the natural abundances of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminous trees, under nitrogen fertilization levels in an agrosilvopastoral system. The experimental design was randomized in blocks, with three replications. Each 1 ha block was subdivided into four 0.25 ha paddocks. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of N, the fertilizations were with urea. Ringed steers were used, with initial average body weight (BW) of  $200 \pm 35$  kg, with two animals per paddock. The plant stand, stem length (CF), diameter at the base (DB), diameter at breast height (DBH), Lorey height (hL) and volume, leaf biomass and thin, medium and coarse (GF, GM and GG), density of the base and in the diameter of the breast (DB and DAP, in that order), mineral matter (MM), crude protein (CP), nitrogen (N), carbon (C), ratio C:N, acid detergent fiber (ADF), lignin (Lig) and Lig:N ratio, natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ , and nitrogen derived from the atmosphere (N<sub>dfa</sub>). In the Massai, the total forage mass (MFT), forage density (DF), CP and MM of green forage (PBFV; MMFV) and senescent (PBFS; MMFS) were evaluated, in addition to the variables related to the animals [stocking rate (TL), average daily gain (GMD) and average gain per area (GPA)]. The SAS Proc Mixed program was used and the means of each treatment were compared using the Tukey test, at a 5% probability level. In sabiá there was only significance ( $P > 0.05$ ) between the fertilization levels for  $\delta^{15}\text{N}$ , which was higher in the treatments of 200 and 400 kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> with 1.04 and 1.73 ‰ respectively. N<sub>dfa</sub> was higher in treatments of 0 (76.77%) and 100 (56.84%) kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. There was an 8% reduction in the sabiá stand from the first to the second evaluation. DB, DAP, CF, hL and vol increased by 13, 17, 40, 40 and 80% between the two evaluation periods. Leaf biomass and GF, GM and GG increased by 796, 48, 67 and 78%, between evaluations, respectively. DB and DAP density increased by 14 and 40%, in that order, between assessments. The MM, CP and C:N in the leaves increased by 66 and 28 and 50% respectively, between the evaluations, while the C, Lig:N and ADF reduced by 29, 80 and 26%. In FG, MM and C:N reduced 26 and 24%. In GM, N increased by 17% and, in MG, C reduced by 6%, MM and N increased to 33 and 17%, between evaluations. In the Massai, the MFT ranged from 552 (Aug/2020) to 2216 kg ha<sup>-1</sup> (Feb/2021). The DF ranged from 14 (Dec/2020) to 84 kg of DM ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (Feb/2021). PBFV concentrations ranged from 83 (Oct/2020) to 118 g kg<sup>-1</sup> (Mar/2021). MMFV differed only in March and Apr/2020 with 124 and 127 g kg<sup>-1</sup>. The TL ranged from 3.4 to 5.1 AU ha<sup>-1</sup> between Jun/2020 and Feb/2021. The ADG and GPA were higher in the periods with greater precipitation, with variations from 0.03 kg BW day<sup>-1</sup> and 0.1 kg BW ha<sup>-1</sup> to 0.75 kg BW day<sup>-1</sup> and 3.4 kg BW ha<sup>-1</sup> in the months of Aug/2020 and Apr/2021, respectively. The levels of nitrogen fertilization not the biomass and nutrients of massai and sabiá grass. The lowest levels of fertilization (0 and 100 kg of N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) provided greater fixation of N derived from the atmosphere. Therefore, nitrogen fertilization does not contribute to a greater development of the thrush.

**Keywords:** intensification, biological nitrogen fixation, forage production

## LISTA DE SIGLAS

%FS – Porcentagem de Forragem Senescente

%FV – Porcentagem de Forragem Verde

C – Carbono

C:N – Relação Carbono Nitrogênio

CF – Comprimento do Fuste

DAP – Diâmetro a Altura do Peito

DB – Diâmetro da Base

DF – Densidade da Forragem

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FDA - Fibra em Detergente Ácido

GMD – Ganho Médio Diário

GPA – Ganho por Área

hL – Altura de Lorey

ILPF - Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Lig – Lignina

Lig:N – Relação Lignina nitrogênio

MFT – Massa de Forragem Total

MM – Matéria Mineral

MOS – Matéria Orgânica do Solo

MS - Matéria Seca

MSFS - Matéria Seca de Forragem Seca

MSFV – Matéria Seca de Forragem Verde

N – Nitrogênio

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

N<sub>da</sub> – Nitrogênio Derivado do Ar

NH<sub>3</sub> – Amônia

ONU – Organização das Nações Unidas

PB – Proteína Bruta

PC – Peso Corporal

REDD+ - Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal

SAFs - Sistemas Agroflorestais

TL – Taxa de Lotação

UA – Unidade Animal

URT – Unidade de Referência Tecnológica

Vol – Volume

## LISTA FIGURAS

### Capítulo 2. Dendrometria, produção e nitrogênio derivado do ar de leguminosa arbórea, em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada

Figura 1 - Temperatura (°C), balanço hídrico (mm) e precipitação mensal (mm), dos últimos 10 anos (2011 a 2021) e do período experimental, no município de Pindaré-Mirim, MA..3230

Figura 2 – Arranjo experimental da sabiá em sistema agrossilvipastoril, na URT de ILPF, da Embrapa Cocais, Pindaré – Mirim, Brasil.....34  
2

Figura 3 - Croqui da área experimental, na URT de ILPF, da Embrapa Cocais, Pindaré – Mirim, MA, Brasil.....353

**Capítulo 3. Produção animal e de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril, sob níveis de adubação nitrogenada.**

Figura 1 - Massa de forragem total do <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril.....	61
Figura 2 - Porcentagem de forragem verde e senescente <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras minúsculas indicam diferença para FS (forragem senescente).....	62
Figura 3 - Densidade de <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação. ....	63
Figura 4 - Proteína bruta da forragem verde de <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação.....	64
Figura 5 - Proteína bruta da forragem senescente de <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação.....	65
Figura 6 - Matéria mineral da forragem verde de <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação.....	67
Figura 7 - Matéria mineral da forragem senescente de <i>Megathyrus maximus</i> Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação.....	67
Figura 8 - Taxa de Lotação em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação.....	69
Figura 9 - Ganho médio diário em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação.....	70
Figura 10 - Ganho por área em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação.....	70

## LISTA TABELAS

### Capítulo 2. Dendrometria, produção e nitrogênio derivado do ar de leguminosa arbórea, em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada

Tabela 1 - Atributos químicos do solo, da área experimental na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30 cm, em novembro de 2019.....	31
Tabela 2 - Atributos físicos do solo, da área experimental na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30 cm, em novembro de 2019.....	31
Tabela 3 - Números de fustes da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA. ....	34
Tabela 4 - Variáveis dendrométricas da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob diferentes períodos de avaliações em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA. ....	37
Tabela 5 - Biomassa área e densidade básica da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.....	40
Tabela 6 - Composição química das folhas de sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.....	42
Tabela 7 - Composição química dos galhos da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.....	44
Tabela 8 - Abundância natural de 15N e 13C das folhas da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA. ....	45
Tabela 9 - Abundância natural de 15N, 13C e nitrogênio derivado da atmosfera das folhas da sabiá ( <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA. ....	46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
1. SISTEMAS AGROFLORESTAIS - SAFs .....	15
2. ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS .....	17
3. BENEFÍCIOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL.....	19
REFERÊNCIAS.....	22
<b>CAPITULO 2. DENDROMETRIA, PRODUÇÃO E NITROGÊNIO DERIVADO DO AR DE LEGUMINOSA ARBÓREA, EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA</b> .....	28
1. INTRODUÇÃO .....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
2.1 Localização e Histórico da Área.....	32
2.2 Descrição e Delineamento Experimental .....	34
2.3 Variáveis Dendrométricas da Sabiá.....	35
2.4 Biomassa Aérea e Densidade Básica da Sabiá .....	37
2.5 Análise da Composição Química e Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ .....	37
2.6 Análise Estatística .....	38
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
3.1 Variáveis Dendrométricas da Sabiá.....	39
3.2 Biomassa Área e Densidade Básica da Sabiá.....	41
3.3 Composição Química e Abundancia Natural de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ .....	43
4. CONCLUSSÕES .....	50
REFERÊNCIAS.....	51
<b>CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO ANIMAL E DE <i>MEGATHYRSUS MAXIMUS</i> JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL, SOB NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA</b> .....	57
1 INTRODUÇÃO .....	59
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	61
2.1 Localização, Histórico e Delineamento da Área Experimental .....	61
2.2 Avaliação da Produção do Capim Massai.....	61
2.3 Análise da Composição Química do Massai.....	61
2.4 Desempenho Animal .....	62

2.5	Análises Estatísticas .....	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.1	Produtividade do Massai .....	62
3.2	Composição Química do Massai.....	66
3.3	Desempenho Animal .....	71
4	CONCLUSÕES .....	75
	REFERÊNCIAS.....	76
	CONCLUSÕES GERAIS.....	80



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais *players* de mercado de carne bovina (~214,69 milhões de cabeças), sendo o maior exportador mundial de carne dessa espécie (Abiec 2019), uma característica importante é ter a maior parte do rebanho criado a pasto (Dias-Filho 2015). O desenvolvimento desses pastos é favorecido quando há uma maior absorção de nutrientes, especialmente o nitrogênio (N) (Dupas et al. 2016), que além de maximizar a produção de matéria seca das gramíneas forrageiras, é assimilado pela planta e se associa às cadeias carbonadas, promove o aumento dos constituintes celulares e, conseqüentemente, incremento do vigor da rebrota e da produção de massa seca das plantas, sob condições climáticas favoráveis (Bernadi et al. 2018).

Nas condições do trópico úmido, a eficiência do N é muito baixa, as altas temperaturas aumentam as taxas de volatilização da ureia, enquanto os altos índices pluviométricos aumentam as concentrações de nitrato e a lixiviação (Jabloun et al. 2015). Como os fertilizantes nitrogenados oneram os custos de produção, e a demanda de alimentos cresce ano a ano, torna-se necessário assegurar sua máxima eficiência, por meio de doses adequadas (Costa et al. 2017). Uma alternativa para incrementar a eficiência do uso do N em pastagens e reduzir os custos com fertilização seria o uso de leguminosas, que fixam biologicamente N no solo (Charlk et al. 2014).

O sistema agrossilvipastoril é uma estratégia, que integra na mesma área lavoura, árvores ou arbustos em pastagens com a presença de animais, diversificando a exploração dos serviços ecossistêmicos (Pinheiro et al. 2018). A introdução de leguminosas arbóreas nos sistemas agrossilvipastoris é uma abordagem possível à intensificação dos sistemas integrados, que além de contribuir com a fixação simbiótica de N, proporciona incremento na produção de forragem, contribue com a ciclagem de nutrientes, mitigação de gases do efeito estufa, alimentação e bem-estar dos animais em pastejo (Dubeux Júnior e Sollenberger, 2020). Além disso, incluem outros serviços ecossistêmicos, como serviços de provisão, regulação, suporte e culturais.

Com isso, algumas espécies de leguminosas fixadoras de N atmosférico vem sendo estudadas em sistemas agrossilvipastoris, entre elas a sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth), espécie arbórea endêmica do Brasil muito utilizada na região Nordeste. Esta espécie apresenta múltiplos usos, desde como cerca viva até para produção de estaca e lenha, sendo recomendada

para recomposição de áreas degradadas, devido a fixação do N e a deposição de serapilheira, contribuindo para o aporte de matéria orgânica no solo (MOS) (Apolinário et al. 2015).

Outra alternativa de componente arbóreo é o babaçu (*Atallea speciosa* Mart.), espécie nativa da região Norte e das áreas de Cerrado com ocorrência concentrada nos estados do Maranhão, Tocantins e Piauí, na região conhecida como Mata dos Cocais (transição entre Caatinga, Cerrado e Amazônia). O babaçu é uma palmeira de fácil manutenção, sem a necessidade de gastos com a introdução de mudas, tem resistência aos incêndios, além de não necessitar do isolamento da área de plantio durante os primeiros anos de estabelecimento (Petri et al. 2014).

Entre as gramíneas para uso em sistema agrossilvipastoril destaca-se o capim massai (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Massai), amplamente utilizado nos sistemas de produção animal. O massai possui características almejadas por haver acelerado perfilhamento com uma relação folha:colmo desejável, e resistência ao sombreamento (Costa et al. 2016).

Em concordância com o descrito, este trabalho baseia-se na hipótese que o uso da adubação nitrogenada aumentam a produtividade da sabiá e massai, em sistema agrossilvipastoril, nas condições de trópico úmido maranhense. Desse modo, objetivou-se quantificar a biomassa e nutrientes do capim massai e da sabiá e estimar a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , via leguminosa arbórea, sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril, no trópico úmido maranhense.

## CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 1. SISTEMAS AGROFLORESTAIS - SAFs

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são compreendidos como promotores de serviços ecossistêmicos que buscam a produção sustentável, e integram na mesma área a produção de cultivos agrícolas com árvores frutíferas ou florestais e/ou animais, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes (Santos et al. 2009).

De acordo com estimativas do Censo Agropecuário Brasileiro (IBGE 2017), a área total de SAFs no Brasil é de 13,8 milhões de hectares. Nair et al. (1993) classificaram esses sistemas de acordo com a composição e variações dos arranjos em: sistemas silvipastoris (animais, árvores ou arbustos), agrossilviculturais (plantas anuais e árvores ou arbustos) e agrossilvipastoris (animais, plantas anuais e árvores ou arbustos), em alguma forma de arranjo espacial ou sequência temporal. O estabelecimento do sistema agropastoril (plantas anuais e animais) só é considerado completo quando ocorre o estabelecimento entre os componentes arbóreo, forrageiro e animal (Gontijo Neto 2015).

Além desses modelos, existe ainda a variante de quintais agroflorestais, que possuem espécies frutíferas, florestais, medicinais, agrícolas e animais domésticos coligados em um mesmo local e localizados geralmente nas imediações das residências familiares (Almeida e Gama 2014). Logo, são recomendadas diferentes estratégias que variam de acordo a facilidade aos insumos e ao estágio de sucessão encontrado na área, pois há necessidade de flexibilidade, e a criatividade de combinar as opções com as técnicas e práticas de manejo (Miccolis et al. 2016).

Segundo Canuto et al. (2017), os SAFs proporcionam inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais, que possam se transformar em uma das mais importantes alternativas ecológicas da atualidade, pela sua dupla função a de buscar simultaneamente metas ecológicas e econômica. Os SAFs promovem aumento da biodiversidade, que visam a intensificação do uso do solo com o aumento da ciclagem e a eficiência na utilização dos nutrientes, a qualidade da água, promoção do bem-estar animal, reduz a manifestação de pragas, doenças e plantas espontâneas, diminui o consumo de insumos externos, mitigação dos gases de efeito estufa, aumenta o processo de sequestro de carbono, reduzem o risco de investimento em uma só cultura e diversifica a renda do produtor e gera mais empregos (Lemaire et al. 2014).

Os SAFs são compatíveis com a abordagem preconizada pelo mecanismo de incentivo financeiro criado pela Organização das Nações Unidas (ONU), denominado Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+), por sua capacidade de fixar carbono e conservar paisagens florestais com alto grau de diversidade (Schroth et al. 2015). Além disso, os SAFs evitam desmatamento, respeitam a segurança alimentar, o desenvolvimento sustentável, considerando um cenário de crescente demanda por alimento e energia, frente a uma disponibilidade cada vez menor de recursos naturais (Lemaire et al. 2014).

No entanto, ainda existem lacunas de conhecimento para o aprimoramento e o desenvolvimento desses sistemas de produção, para torná-los mais eficientes no uso dos recursos naturais, como elevado custo inicial para implantação, competição inicial entre as culturas, falta de capacitação técnica e retorno financeiro gradativo. Outra desvantagem conforme relatada por Bernardino et al. (2011) é a deficiência de nitrogênio em SAFs, que pode restringir a produtividade agrícola, pecuária e florestal, uma vez que esses sistemas têm alta demanda por esse nutriente. Com isso é importante o conhecimento acerca de técnicas que otimizem a produção com baixo impacto ambiental.

## 2. ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS

O nitrogênio é o elemento mais presente na atmosfera terrestre (~78%), e exigido em maior quantidade pela maioria das plantas (Taiz et al. 2013), a disponibilidade de N é um dos fatores que controlam os processos de crescimento da planta, representado principalmente pela maior rapidez de formação das gemas axilares de iniciação de seus respectivos perfilhos e aumento da área foliar, maximizando a produção de matéria seca, promovendo o crescimento dos constituintes celulares e conseqüentemente incremento do vigor da rebrota e da produção de massa seca das plantas, sob condições climáticas favoráveis (Bernadi et al, 2018).

Conforme Francisco et al. (2017) relataram que no Brasil 45% e 55% das áreas de pastagens são nativas e cultivadas, respectivamente. Aproximadamente metade delas encontram-se em algum nível de degradação, sendo necessárias práticas conservacionistas, tais como adoção de novas espécies e adubação, em especial com nitrogênio.

Com a adubação nitrogenada em pastagens têm-se alcançado maiores índices de desempenho dos animais, como a taxa de lotação em função da maior oferta de forragem, em quantidade e qualidade (Dupas et al. 2016). Dentre os fertilizantes nitrogenados mais utilizados na agropecuária, tem-se o sulfato de amônio, a ureia e o nitrato de amônio. A ureia a fonte mais utilizada no Brasil e no mundo, correspondendo a cerca de 60% dos fertilizantes comercializados, por apresentar maior concentração de N (46%) e menor custo por unidade de nutriente (Chagas et al. 2017).

No entanto, a ureia é a fonte que pode ser mais facilmente perdida por volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ), essa perda tem sido extensivamente estudada em diferentes regiões do Brasil, onde o  $\text{NH}_3$ -As perdas de N variam de 5 a 78% do N aplicado como ureia dependendo das condições ambientais particulares (Viero et al. 2017).

De acordo com Dupas et al. (2016) a adubação mineral com N é rapidamente disponível para as plantas na solução do solo, mas o N que não é absorvido pelas raízes é perdido por lixiviação ou volatilização, ou então incorporado à MOS. Além disso, o alto custo dos fertilizantes nitrogenados permite considerar que sua utilização sem planejamento pode elevar o custo do produto agrícola e contaminar o ambiente por lixiviação de N e emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e de amônia ( $\text{NH}_3$ ) a partir do solo (Villalba et al. 2014).

Sena et al. (2019), observaram que as perdas de N por volatilização do uso de amônia são afetadas por fatores edafoclimáticos e favorecidas nas condições quente e úmidas. A

emissão do  $N_2O$  ocorre por meio da desnitrificação, na ausência de oxigênio no solo e os fatores que influenciam a lixiviação de N estão relacionados com o manejo inadequado do solo, a fonte e forma de aplicação, o tipo do solo e precipitação pluvial, que são fatores determinante na eficiência do N aplicado (Jabloun et al. 2015). Estas perdas podem atingir valores como 78% do N aplicado e podem variar dependendo das práticas de manejo e condições ambientais (Tasca et al. 2011).

Desse modo, o uso da adubação nitrogenada em pastagens é uma opção para intensificar os sistemas de produção animal, aumentando a produtividade e como consequência elevando a taxa de lotação animal. Entretanto, a adubação nitrogenada pode ser reduzida em função de fatores ambientais e econômicos, sendo é necessário adotar diretrizes no planejamento da fertilização a ser realizada conhecendo doses recomendadas (Cruz et al. 2006), e adotar a intensificação dos sistemas cultivados, buscando-se maiores produtividades com menores gastos com insumos externos.

### 3. BENEFÍCIOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL

O uso de leguminosas arbóreas no sistema agrossilvipastoril promove diversos benefícios como habitat de polinizadores, diversificação da renda, conforto térmico, alternativa de alimento para ruminantes, ciclagem de nutrientes via serapilheira, sequestro de carbono e fixação biológica do nitrogênio atmosférico (Dubeux Júnior e Sollenberger 2020).

Em sistemas agrossilvipastoris, árvores ou arbustos tornam o ambiente mais diversos e de maior complexidade com a presença de flora e fauna. A presença de leguminosas arbóreas no sistema é importante na manutenção da diversidade de insetos polinizadores, que fornecem serviço essencial para os ecossistemas naturais e agrícolas, do ponto de vista biológico e econômico (Kearns et al. 1998).

De acordo com Apolinário et al. (2015) há uma diversificação de renda do produtor por meio de leguminosas arbóreas em SAFs, com a produção de madeira, estaca, lenha e carvão. Segundo Carvalho (2007) a produção de estacas de sabiá varia de 4.000 a 9.000 estacas ha<sup>-1</sup>, em plantios de até oito anos de idade, sendo as estacas produzidas de grande valor no mercado. A utilização das folhas na alimentação animal com objetivo de melhorar a relação custo/benefício das dietas e suprir as necessidades proteicas dos animais, também é uma alternativa viável, tanto do ponto de vista nutricional quanto econômico (Cândido et al. 2018). Em suas pesquisas, Oliveira et al. (2018) relataram uma produção de matéria seca de forragem média anual na sabiá de 398.2 e 702.2 kg ha<sup>-1</sup> em 2.250 plantas por hectare, em alturas de até 1,5 m acima do solo e de toda a planta.

A sombra proporcionada pela leguminosa beneficia a bioatividade do solo (Vallejo et al. 2012), muitas forrageiras se desenvolvem em ambientes sombreados por causa da redução do estresse de temperatura e evapotranspiração (Dubeux Júnior e Sollenberger 2020). A sombra também pode mitigar o estresse térmico em animais, especialmente em climas críticos, horários do dia ou estações do ano (Karki e Goodman 2012). Essas reduções de estresse podem promover melhores ganhos e maiores taxas reprodutivas (Bussoni et al. 2015). Almeida et al. (2012) observaram que níveis de sombreamento de 30 a 50%, das gramíneas *Urochloa brizantha* Stapf cvs. Marandu, Xaraés e Piatã, *Urochloa decumbens* Stapf. cvs. Basilisk, *Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Aruana, Mombaça, Tanzânia e Massai são considerados tolerantes e com produção satisfatória em sistema agrossilvipastoril.

Outro benefício da presença de leguminosas no sistema de produção é a ciclagem de nutrientes, que favorece o fluxo ou a movimentação nos diferentes compartimentos do ecossistema de pastagem [solo-planta-animal-atmosfera] (De Sá Souza et al. 2018). A serapilheira (folhas, galhos e estruturas reprodutivas) de leguminosas com capacidade biológica de fixar N apresenta menor relação C:N (Zanetti 2010), o que pode proporcionar maior mineralização e disponibilização do N para o solo durante o processo de decomposição, aumentando o teor de N no sistema e reduzindo a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos. Além disso, o microclima do solo causado pela sombra da leguminosa no sistema e a serapilheira, e a retenção de umidade, pode contribuir com a fertilidade do solo (Dubeux Júnior e Sollenberger 2020).

Além disso, as raízes das espécies arbóreas, por exemplo, contribuem com a fertilidade, pois são capazes de acessar os reservatórios de nutrientes das camadas mais profundas do solo, contribuindo com o aporte de N e C do solo (Siqueira et al. 2014). Vale ressaltar que as plantas podem atuar como drenos de carbono (C), tendo potencial de aumentar o sequestro de C, tanto acima quanto abaixo do solo (Nair et al. 2014), especialmente nesse caso para as leguminosas em questão (arbóreas) pela necessidade de C requerida para sustentação de seus tecidos vegetais.

A simbiose de leguminosas com bactérias diazotróficas, conhecidos coletivamente como Rizóbios auxiliam na FBN e na biomassa aérea das leguminosas (Tavares et al. 2016), enquanto que as gramíneas podem se beneficiar do N<sub>2</sub> fixado pela leguminosa, seja pela excreção direta de compostos nitrogenados pelas raízes, ou pela decomposição dos nódulos, das raízes e da serapilheira das leguminosas (Machado et al. 2012).

Como o nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas, a FBN é a principal via de inclusão do N atmosférico no sistema solo-planta, sendo considerada o segundo processo biológico mais importante, depois da fotossíntese (Silva Júnior et al. 2012). A FBN é uma alternativa viável para reduzir a dependência de fertilizantes químicos (Dall'agnol 2016), logo tem sido amplamente estudada nas mais variadas condições edafoclimáticas e de manejo (Apolinário et al. 2015), por ser uma prática de grande expressão econômica aliado a um baixo impacto ambiental (Stambulska e Lushchak 2015). Algumas espécies de leguminosas arbóreas que fazem FBN utilizadas em SAFs são: sabiá fixando em média 160 kg N ha<sup>-1</sup>, gliricídia (*Gliricidia sepium* L.) com 110 kg N ha<sup>-1</sup> (Apolinário et al. 2015), acácia (*Acacia mangium* Wild.) com 124 kg N ha<sup>-1</sup> (Voigtlaender et al. 2012) e leucena



(*Leucaena leucocephala* Lam.) com 80 kg N ha<sup>-1</sup> (Salgado et al. 2020). Diante do exposto fica evidente os benefícios das leguminosas arbóreas em sistema agrossilvipastoril.

## REFERÊNCIAS

- Abalos, D.; Jeffery, S.; Sanz-Cobena, A.; Guardia, G.; Vallejo, A. (2014) - Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 189, p. 136-144. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03>.
- Abiec - Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras De Carne. Estatísticas. (2018). Disponível em: <http://www.abiec.com.br/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>. Acesso em: 08 de abr. de 2020.
- Aguiar, A.C.F.; Bicudo, S.J.; Sobrinho, J.R.S.C.; Martins, A.L. S.; Coelho, K. P.; Moura, E. G. (2010). Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system in sandy loam in the pre-Amazon region of Brazil. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, v.86, p. 189-198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-009-9283-6>
- Almeida, L.S. De; Gama, J.R.V. (2014). Quintais agroflorestais: estrutura, composição florística e aspectos socioambientais em área de assentamento rural na Amazônia brasileira. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 4, p. 1041-1053.
- Apolinário, V.X.O.; Dubeux Junior, J.C.B.; Lira, M.A.; Ferreira, R.L.C.; Mello, A.C.L. D.; Coelho, C.D.L.; Muir, J.P.; Sampaio, E.V.S.B. (2016). Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. *Crop Science*, v.1, n.3, p.1-24. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.09.0588>
- Bernardes, T.G.; Silveira, P.M.; Melo Carvalho, M.T.; Madari, B.E.; Carvalho, M.D.C.S. (2015). Produtividade do feijoeiro irrigado em razão de fontes de adubo nitrogenado estabilizado e de liberação controlada. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 62, n. 6, p.507- 513.
- Bernardi, A.; Silva, A.W.L.; Baretta, D.(2018). Estudo metanalítico da resposta de gramíneas perenes de verão à adubação nitrogenada. *Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v. 70, n. 2, p .545-553. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9501>
- Bernardino, F.S.; Tonucci, R.G.; Garcia. R.; Neves, J.C.L.; Rocha, G.C. (2011) Produção de forragem e desempenho de novilhos de corte em um sistema silvipastoril: efeito de doses de nitrogênio e oferta de forragem. *Rev Bras Zootec* 40:1412-1419. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700003>
- Bussoni, A.; Cabris, J.; Fernandez, E.; Boscana, M.; Cabbage, F. And Bentancur, O. (2015). Integrated beef and wood production in Uruguay: potential and limitations. *Agroforestry Systems* 89:1107-1118.
- Cândido, M. J. D.; Lopes, M. N.; Furtado, R. N.; Pompeu, R. C. F. F. (2018). Potencial e desafios para a produção animal sustentável em pastagens cultivadas do Nordeste. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 20, n. 1, p. 59-70.

Canuto, J. C.; Urchei, M. A.; Camargo, R. C. R. (2017). Conhecimento como base para a construção de sistemas agrícolas biodiversos. In: *Sistemas Agroflorestais: experiências e reflexões*. Brasília, DF: Embrapa, 2017.7

Chagas, P. H. M.; Gouveia, G. C. C.; Costa, G. G. S.; Barbosa, W. F. S.; Alves, A. C. (2017). Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. *Journal of Neotropical Agriculture, Cassilândia*, v. 4, n. 2, p.76-80. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i2.1301>

Costa, N. L.; Gianluppi, V.; Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Magalhães, J. A.; Bendahan, A. B. (2017). Adubação nitrogenada e consorciação de *Trachypogon plumosus* com *Stylosanthes capitata* cv. Lavradeiro sob diferentes densidades de semeadura. *Pubvet*, n. 8, v.11, p.808-814. DOI: <http://dx.doi.org/10.22256>

Costa, N.L; Paulino, V.T.; Magalhães, J.A.; Rodrigues, B.H.N.; Santos, F.J.S. (2016). Eficiência do nitrogênio, produção de forragem e morfogênese do capim massai sob adubação. *Nucleus*, v. 13, n. 2, p. 173-182. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1695>

Cruz, C.A.F.; Paiva, H.N.; Guerrero, C.R.A. (2006). Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). *Revista Árvore, Viçosa*, v. 30, n. 4, p.537-546, 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6762200600040000>

Dall'agnol, R. F.; Plotegher, F.; Souza, R. C.; Mendes, I. C.; Dos Reis Junior, F. B.; Béna, G.; Moulin, L.; Hungria, M. (2016). *Paraburkholderia nodosa* is the main N<sub>2</sub>-fixing species trapped by promiscuous common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Brazilian “Cerradão”. *FEMS microbiology ecology*, p. fiw108. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw108>

Danso, S. K. A.; Bowen, G. D.; Sanginga, N. (1992). Biological nitrogen fixation in trees in agro-ecosystems. In: *Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture*. Springer, Dordrecht. p. 177-196.

De Sá Souza, M.; Jardim, A. M. D. R. F.; Júnior, G. D. N. A.; Silva, J. R. I.; Leite, M. L. D. M. V.; Teixeira, V. I.; Silva, T. G. F. (2018). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. *Pubvet*, 12, 172.

Dias-Filho, M. B. (2015). *Degradação de Pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação*. 4. Ed. Pará.

Dubeux, J. C. B.; Muir, J. P.; Apolinário, V. X. D. O.; Nair, P. K.; Lira, M. D. A.; Sollenberger, L. E. (2017). Tree legumes: an underexploited resource in warm-climate silvopastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, p. 689-703.

Dupas, E.; Buzetti, S.; Rabêlo, F.H.S.; Sarto, A.L.; Cheng, N.C.; Teixeira Filho, M.C.M.; Galindo, F.S.; Dinalli, R.P.; Gazola, R.N. (2016). Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. *Australian Journal of Crop Science*, 10, 9, pp. 1330-1338.

Erasmu, E.A.L.; Gonçalves, R.C.; Mata, J.F.; Oliveira, V.A.; Benício, L.P.F. (2017). Growth of *Brachiaria brizantha* planted at diferente densities and seasons in Santa Fé system with a culture of soybean. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v.29, n.9, p.658-663. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i9.108>

Esperschuetz, J.; Balaine, N.; Clough, T.; Bulman, S.; Dickinson, N.M.; Horswell, J.; Robinson, B.H. (2017). The potential of *L. scoparium*, *K. robusta* and *P. radiatatum* to mitigate N losses in silvopastoral systems. *Environmental Pollution*, v. 225, n.1, p. 12-19.

Francisco, E.A.B.; Bonfim-Silva, E.M.; Teixeira, R.A. (2017). Aumento da produtividade de carne via adubação de pastagens. *Informações Agrônomicas*. Piracicaba, p. 6-12.

Galindo, F.S.; Beloni, T.; Buzetti, S.; Teixeira Filho, M.C.M.; Dupas, E.; Ludkiewicz, M.G.Z. (2018) - Technical and economic viability and nutritional quality of mombasa guinea grass silage production. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol. 40, art. e36395. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.36395>

Gazolla, A.G. Capim-Marandu e babaçu em sistema silvipastoril. (2012). Tese (Doutorado em Zootecnia). 72 f. 2012. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

Gontijo Neto, M.M.; Viana, M.C.M.; Alvarenga, R.C.; Queiroz, L.R.; Simões, E.P.; Campanha, M.M. (2015). Integração Lavoura-Pecuária Floresta Em Minas Gerais. In: Alves, F. V.; Laura, V. A.; Almeida, R. G. De (Eds.). *Sistemas Agroflorestais: A agropecuária sustentável*. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa.

Gupta, D.K.; Bhatt, R.K.; Mohamed, M.B.N. (2019). Carbon sequestration potential of *Hardwickia binata* Roxb. based agroforestry in hot semi-arid environment of India: An assessment of tree density impact. *Current Science*, v. 116, p. 112-116

Herrera, A. M.; De Mello, A. C. L.; De Oliveira Apolinário, V. X.; Júnior, J. C. B. D.; Cunha, M. V.; Santos, M. V. F. (2021). Potential of *Gliricidia sepium* (jacq.) Kunth ex Walp. and *Mimosa caesalpinifolia* Benth. in silvopastoral systems intercropped with signalgrass [*Urochloa decumbens* (Stapf) RD Webster]. *Agroforestry Systems*, 1-12.

Karki, U.; Goodman, Mary, S. (2012). Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforest Systems*, 78:159-168.

Kearns, C.A.; Inouye, D.W. ; Waser, N. M. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions.. *Annual review of ecology and systematics*.; v.29, p.83-112.

Lee MS, Wycislo A, Guo J, Lee D. K.; Voigt T (2017) Nitrogen fertilization effects on biomass production and yield components of *Miscanthus x giganteus*. *Front Plant Sci* 8:544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00544>

Lemaire, G.; Franzluebbers, A.F.; Carvalho, P.C.; Dedieu, B. (2014) Integrated crop-livestock systems: strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosyst Environ* 190:4-8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>

Lemos, J. D. J. S.; Souza, R. C. de. (2018). Sistemas agroextrativistas como alternativa de preservação da palmeira de babaçu no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, v. 2018, n. 1, p. 82-95.

Lima, B. G. (2012). *Caatinga: espécies lenhosas e herbáceas*. Mossoró: Editora Universitária da UFRS (EDUFERSA), 316 p.

Linguist, B.A.; Liu, L.; Kessel, C. Van; Groenigen, K.J.V. (2013) Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*, vol. 154, p. 246-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>

Machado F.A.E.; Bezerra Neto, P.S.C.B.; Nascimento, L.M.; Silva, L.P.; Barreto, H.T.S.; Nascimento J.A.; Leal. (2012). Produção e qualidade da serrapilheira de três leguminosas arbóreas nativas do nordeste do Brasil. *Archivos de Zootecnia*. 61:323-334.

Miccolis, A.; Peneireiro, F.M.; Marques, H.R.; Vieira, D. L. M.; Arco-Verde, M.F.; Hoffmann, M. R.; Rehder, T.; Pereira, A. V. B.(2016). Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF.

Moreira, V.; Justino, G. C.; Camargos, L. S.; Aguiar, L. F. (2014). Características adaptativas da associação simbiótica e da fixação biológica do nitrogênio molecular, em plantas jovens de *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl.; uma leguminosa arbórea nativa do Cerrado. *Rodriguésia*, v. 65, n. 2, p. 517-525. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000200013>

Nair, P. K. R. (2014). Grand challenges in agroecology and land use systems. *Front. Environmental Science*. v. 2, p.1–4.

Nair, P.K.R. (2013). Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: ELIAS, S. A. et al. (Eds.), Reference module in Earth systems and environmental sciences. Elsevier, p. 1-15.

Nair, P.K.R. (1993). An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 499p.

Pinheiro F.M.; Nair, P.R. (2018) Silvopasture in the Caatinga biome of Brazil: a review of its ecology, management, and development opportunities. *Forest Syst* 1–16. <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12267>

Pirhofer-Walzl, K.J; Rasmussen, H.; Høgh-Jensen, J.; Eriksen, K.; Søgaard, J.; Rasmussen. (2012). Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi species grassland. *Plant Soil*. 350:71-84.

Pompeu, G.S.S.; Rosa, L.S.; Araújo, S. L.F.; Araújo, A. B. B.; Silveira, E. L. (2011). Influência das características socioeconômicas de agricultores familiares na adoção de sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias. Amazônia*, volume 54, p. 33-41.

Poniso, L.C.; M'gonigle, L.K.; Mace, K.C.; Palomino, J.; Valpine, P.; Kremen, C. (2015) Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc R Soc* 282(1799)

Primavesi, O.; Rodrigues, A. A.; Paino, C. R. S.; Alencar, S. B. (2001). Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: Eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste.

Sadeghpour, A.; Jahanzad, E.; Esmaili, A.; Hosseini, M. B.; Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semiarid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148, 43-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>

- Santiago-Hernández, F.; López-Ortiz, S.; Ávila-Reséndiz, C.; Jarillo-Rodríguez, J.; Pérez-Hernández, J.; Guerrero-Rodríguez, J. D. (2016) Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry Systems*, 90, 339–349. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9858-y>
- Santos, P.Z.F.; Crouzeilles, R.; Sansevero, J. B. B. (2019). Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A metaanalysis for the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, v. 433, p. 140– 145.
- Santos; F.(2016). *Adubação de pastagens em sistemas de produção animal*. Viçosa: Ed. UFV, 311 p.
- Schowalter, T.D. (2016). *Insect ecology: an ecosystem approach*. Academic press.
- Schroth, G.; Bede, L. C.; Paiva, A. O.; Cassano, C. R.; Amorim, A. M.; Faria (2015). Contribution of agroforests to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(7), 1175-1190.
- Silva Júnior, E. B.; Fernandes Júnior, P. I.; Oliveira, P. J.; Rumjanek, N. G.; Boddey, R. M.; Xavier, G. R. (2012). Eficiência agrônômica de nova formulação de inoculante rizobiano para feijão-caupi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 1, p. 138-141. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100019>
- Silva, D.R.G.; Costa, K.A.P.; Faquin, V.; Oliveira, I.P.; Bernardes, T.F. (2013) - Rates and sources of nitrogen in the recovery of the structural and productive characteristics of marandu grass. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 44, n. 1, p. 184- 191. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000100023>
- Silva, P.S.L.; Dias, P.C.; Oliveira, V.R. (2015). *Potencial da sabiá como cultura no Semiárido*. Mossoró: Editora Universitária Da UFERSA (EDUFERSA). 264 P.
- Siqueira, P. L.; Silva, P. S.; Silva, K. E.; Oliveira, V. R. D.; Dantas, I. M.; Oliveira, F. H. (2014). Soil fertility beneath the crown of tree species submitted to planting densities. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(9), 914- 919. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p914-919>
- Stambulska, U. Y.; Lushchak, V. I. (2015). Efficacy of symbiosis formation by pea plants with local western Ukrainian strains of *Rhizobium*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, v. 5, n. 2, p. 92-98. DOI: <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.5.2.92-98>
- Tavares, S.R.L.; Franco, A.A.; Silva, R.M.E. (2016). Resposta de sabiá *Mimosa caesalpiniaefolia* benth. a inoculações com rizóbio e micorriza em diferentes níveis de fósforo em solo de restinga degradado. *HOLOS*, Natal, v.4, p.36-55. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3934>
- Tedeschi, L. O.; Muir, J. P.; Riley, D. G.; Fox, D. G. (2015). The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *International Journal of Sustainable*

Development and World Ecology 22:452-465. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1075441>

Tiecher, D. D.; Rocha, M. G. D.; Pötter, L.; Salvador, P. R.; Bergoli, T. L.; Milanesi, G. D. (2016). Morphogenesis and structure of Tifton 85 cultivated in subtropical climate and fertilized with nitrogen. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 38, n. 4, p.389-393. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i4.32147>

Vallejo, V. E.; Arbeli, Z.; Terán, W.; Lorenz, N.; Dick, R. P.; Roldan, F. (2012). Effect land management and *Prosopilis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v.150, p. 139-148.

Villalba, H. A. G.; Leite, J. M.; Otto, R.; Trivelli, P. C. O. (2014). Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. *Informações Agronômicas*, v. 148, p. 12–20.

Voigtlaender M (2012) Produção de biomassa aérea e ciclagem de nitrogênio em consórcio de genótipos de *Eucalyptus* com *Acacia mangium*. University of São Paulo, Thesis.

Weimann, C.; De Farias, J.A.; Deponti, G. (2017). Viabilidade econômica do componente arbóreo de sistema agrossilvipastoril comparado ao de plantio florestal na pequena propriedade rural. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 37, n. 92, p. 429-436.

Xu, G.; Fan, X.; Miller, A.J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, v.63, p.153-182. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-10553>

Zanetti, J.B. (2010). Identificação de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos, 73p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.

## CAPITULO 2. DENDROMETRIA, PRODUÇÃO E NITROGÊNIO DERIVADO DO AR DE LEGUMINOSA ARBÓREA, EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM ADUBAÇÃO NITROGENADA

### RESUMO

Leguminosas arbóreas, que fazem fixação biológica de nitrogênio tem potencial de aumentar a diversidade de produtos e renda, e e reduzir a dependência por insumos químicos em sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se quantificar as biomassas e nutrientes do capim massai (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Massai) e da sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) e estimar as abundâncias naturais de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminosa arbórea, sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril. O delineamento experimental foi casualizado em blocos, com três repetições. Cada bloco de 1 ha foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelorados, com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, permanecendo dois animais por piquete. Na sabiá foi avaliado o stand de plantas, comprimento do fuste (CF), diâmetro na base (DB), diâmetro na altura do peito (DAP), altura de Lorey (hL) e volume, biomassa da folhas e galhos finos, médios e grossos (GF, GM e GG)], densidade da base e no diâmetro do peito (DDB e DDAP, nessa ordem), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), nitrogênio (N), carbono (C), relação C:N, fibra em detergente ácido (FDA), lignina (Lig) e relação Lig:N, abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , e nitrogênio derivado da atmosfera (Ndda). Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Só houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os níveis de adubação para  $\delta^{15}\text{N}$ . Ocorreu uma redução de 8% no stand da sabiá da primeira avaliação (setembro/2020) para segunda (maio/2021). O DB, DAP, CF, hL e vol aumentaram 13, 17, 40, 40 e 80% entre os dois períodos de avaliação. A biomassa das folhas e galhos finos, médios e grossos aumentaram 796, 48, 67 e 78%, entre as avaliações. A DDB e DDAP aumentaram 14 e 40%, nessa ordem, entre as avaliações. A MM, PB e C:N nas folhas aumentaram 66 e 28 e 50% respectivamente, entre as avaliações, enquanto o C, Lig:N e FDA reduziram 29, 80 e 26%. Nos galhos finos, a MM e C:N reduziram 26 e 24%, e o N aumentou 17%, entre as avaliações. Nos galhos médios o N aumentou 17%, e nos grossos as concentrações de C reduziu para 6% e a MM e N aumentaram para 33 e 17%, entre as avaliações. O  $\delta^{15}\text{N}$  foi maior nos tratamentos de 200 e 400 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com 1,04 e 1,73 ‰, respectivamente. O Ndda foi maior nos tratamentos de 0 (76,77%) e 100 (56,84%) kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em sistema agrossilvipastoril, nas condições do trópico úmido, os níveis de adubação nitrogenada não aumentaram a dendrometria, biomassa área, densidade básica e composição química da sabiá. Os menores níveis de adubação (0 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) proporcionaram maior fixação de N derivado da atmosfera. Portanto a adubação nitrogenada não contribui para um maior desenvolvimento da sabiá.

**Palavras chaves:** biomassa, fixação biológica de nitrogênio, isótopos estáveis



## CHAPTER 2. DENDROMETRY, PRODUCTION AND NITROGEN DERIVED FROM THE AIR OF TREE LEGUMINOUS, IN AGROSSILVIPASTORIL SYSTEM WITH NITROGEN FERTILIZATION

### ABSTRACT

Tree legumes that perform biological nitrogen fixation have the potential to increase product diversity and income, and reduce dependence on chemical inputs in agrosilvopastoral systems. The objective was to quantify the biomass and nutrients of massai grass (*Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai) and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) and to estimate the natural abundances of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminous trees, under nitrogen fertilization levels in an agrosilvopastoral system. The experimental design was randomized in blocks, with three replications. Each 1 ha block was subdivided into four 0.25 ha paddocks. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of N, the fertilizations were with urea. Ringed steers were used, with initial average body weight (BW) of  $200 \pm 35$  kg, with two animals per paddock. The plant stand, stem length (CF), diameter at the base (DB), diameter at breast height (DBH), Lorey height (hL) and volume, leaf biomass and thin, medium and coarse (GF, GM and GG)], density of the base and in the diameter of the breast (DDB and DDAP, in that order), mineral matter (MM), crude protein (CP), nitrogen (N), carbon (C), ratio C:N, acid detergent fiber (ADF), lignin (Lig) and Lig:N ratio, natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ , and nitrogen derived from the atmosphere (N<sub>dda</sub>). The SAS Proc Mixed program was used and the means of each treatment were compared using the Tukey test, at a 5% probability level. There was only significant difference ( $P > 0.05$ ) between fertilization levels for  $\delta^{15}\text{N}$ . There was an 8% reduction in the sabiá stand from the first evaluation (September/2020) to the second (May/2021). DB, DAP, CF, hL and vol increased by 13, 17, 40, 40 and 80% between the two evaluation periods. The biomass of leaves and thin, medium and thick branches increased by 79, 48, 67 and 78% between the evaluations. The DDB and DDAP increased by 14 and 40%, in that order, between assessments. The MM, CP and C:N in the leaves increased by 66 and 28 and 50% respectively, between the evaluations, while the C, Lig:N and ADF reduced by 29, 80 and 26%. In the thin branches, the MM and C:N reduced 26 and 24%, and the N increased 17%, between the evaluations. In the medium branches, N increased by 17%, and in the thick ones, the concentrations of C reduced to 6% and the MM and N increased to 33 and 17%, between the evaluations. The  $\delta^{15}\text{N}$  was higher in the treatments of 200 and 400 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> with 1.04 and 1.73 ‰, respectively. N<sub>dda</sub> was higher in treatments of 0 (76.77%) and 100 (56.84%) kg N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. In an agrosilvopastoral system, under the conditions of the humid tropics, the levels of nitrogen fertilization did not increase the dendrometry, area biomass, basic density and chemical composition of the thrush. The lowest levels of fertilization (0 and 100 kg of N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) provided greater fixation of N derived from the atmosphere. Therefore, nitrogen fertilization does not contribute to a greater development of the thrush.

**Keywords:** biomass, biological nitrogen fixation, stable isotopes

## 1. INTRODUÇÃO

A população mundial, de acordo com as projeções da Organização das Nações Unidas (2020) deve subir para 9,7 bilhões em 2050, e a falta de alimento para atender a demanda populacional atual e futura é um dos fatores que exige maximização da produção agropecuária em menos tempo. A intensificação do uso do solo minimizou a abertura de novas áreas e tem sido destacada como a principal estratégia a ser adotada buscando atender as demandas globais crescentes de consumo de carne e leite, conciliando ganhos econômicos, sociais e ambientais (Sena et al. 2019).

Os sistemas agrosilvipastoris são uma das modalidades de sistemas agroflorestais que permitem uma gestão, com uso eficiente dos recursos naturais e intensificação do solo, Chará et al. (2019), observaram aumento da produtividade e a recuperação de áreas degradadas, caracterizados por integrar cultivos agrícolas, florestais e criações de animais, com interações sociais, biológicas e econômicas.

No Brasil, a leguminosa arbórea, sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.), é uma das opções em sistema agrossilvipastoril, na região nordeste, devido a sua alta adaptação e por prestar diversos serviços ecossistêmicos na pastagem (Herrera et al. 2021). A sabiá desempenha papel importante na recuperação de áreas de pastagens degradadas, por apresentar média de proteína bruta e digestibilidade de 170 e 660 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Neves et al. 2014), possuir potencial apícola, realizar fixação biológica de nitrogênio (FBN) e, contribuir no sequestro de carbono. É utilizada como cerca viva e sua madeira é comercializada na produção de estacas e carvão, e contribui na melhoria do conforto térmico para os animais, além da contribuição na mitigação das emissões de gases do efeito estufa (Dubeux Júnior e Sollenberger 2020), com taxa de remoção anual desses da ordem de 34,78 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Naranjo et al. 2012).

A FBN talvez seja uma das características mais desejadas nas leguminosas, e pode variar de acordo com a espécie, ambiente e manejo (Dubeux Júnior et al. 2017). Martins et al. (2013) destacaram, que as altas concentrações de N mineral no solo reduz e inibe a nodulação, e conseqüentemente o estabelecimento da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio. Mendes et al. (2008) descreveram que sempre que a disponibilidade de N no solo é abundante, este é absorvido em detrimento ao N da FBN, enquanto o N-fixado é a maior fonte do nutriente quando o N do solo se torna limitante. Por isso a estimativa da FBN e até onde ela é inibida por meio da adubação mineral, é considerada chave na avaliação da sustentabilidade produtiva, ambiental e de bem-estar animal (Chará et al. 2019). A técnica da abundância natural de  $\delta^{15}\text{N}$

e  $\delta^{13}\text{C}$  tem sido utilizada na estimativa da contribuição da FBN, considerando que cada espécie pode responder a variações nas condições ambientais de acordo com sua sensibilidade às situações ambientais específicas (Vitória et al. 2018).

Além disso, a sabiá é fonte de estacas para cercas e de energia (carvão e lenha), em função do seu alto poder calorífico  $17,48 \text{ Mj kg}^{-1}$ . A exploração de estacas da sabiá tem o potencial de permitir uma renda anual da produção total do sistema de U\$ 500-600  $\text{ha}^{-1}$  e sua implantação pode contribuir na redução da exploração irracional da floresta nativa, produto da extração irregular de madeira (Apolinário et al. 2015). A estaca comercial da sabiá tem em média 8 cm de diâmetro a altura do peito (Carvalho 2007), essa e outras medidas como diâmetro da base, altura, volume, dentre outras, são estimadas por meio de avaliações dendrométricas, que é um ramo da ciência florestal que estuda a medição quantitativa e qualitativa das árvores (Imaña-Encinas et al. 2002).

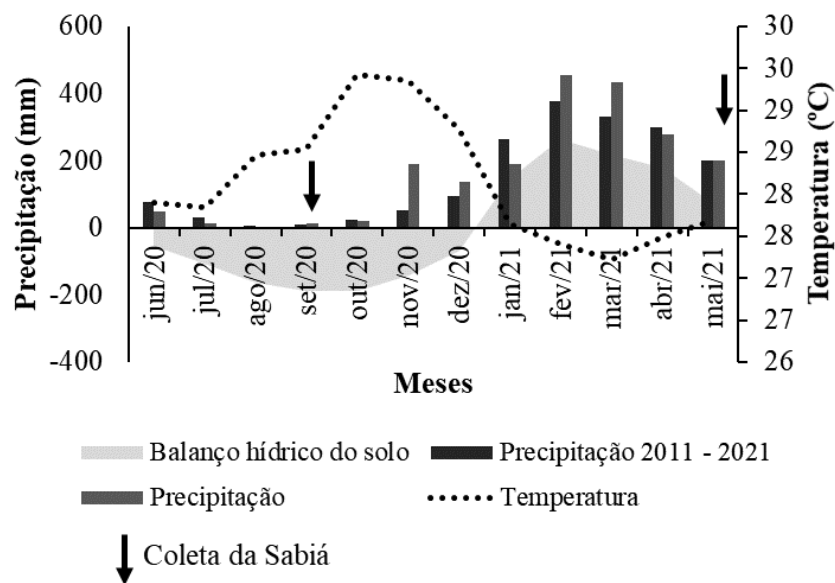
A hipótese dessa pesquisa é que a adubação nitrogenada aumenta a biomassa de sabiá e reduz a fixação biológica. Neste sentido, objetivou-se avaliar as variáveis dendrométricas, biomassa aérea, densidade básica, composição química e abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  de diferentes frações (folhas e galhos) da sabiá, sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril no trópico úmido maranhense.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e Histórico da Área

O experimento foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica (URT) em Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) da Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA), unidade Cocais, no município de Pindaré Mirim – MA, Brasil. Localizada entre as coordenadas geográficas 3° 46' 9.12'' S de latitude, 45° 30' 1.44'' W de longitude e 33 m ao nível do mar, com relevo suave-ondulado (inclinação < 5%).

Segundo a classificação de Köppen (Peel et al. 2007), o clima local é do tipo Aw (quente e úmido) caracterizado por apresentar um clima tropical chuvoso com nítida estação seca e com uma média de precipitação de 2.100 mm ano<sup>-1</sup> (Figura 1). Com temperatura mínima de 23 °C, máxima de 37 °C e temperatura média de aproximadamente 27 °C (Inmet 2021).



**Figura 1** - Temperatura (°C), balanço hídrico (mm) e precipitação mensal (mm), dos últimos 10 anos (2011 a 2021) e do período experimental, no município de Pindaré-Mirim, MA.

O solo do local é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (Araújo et al. 2019), recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas, com predomínio de palmeira Babaçu (*Atallea speciosa* Mart.). Na implantação do experimento, em novembro de 2019, foi realizada análise física e química do solo de acordo com Texeira et al. (2017) encontrando os seguintes resultados apresentados na Tabela 1 e 2.

**Tabela 1** - Atributos químicos do solo, da área experimental, em novembro de 2019.

Profundidade (cm)	MO	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	SB	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup>	T	V
	g kg <sup>-1</sup>	CaCl	mg dm <sup>-3</sup>					(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				%
0 – 10	4,0	5,1	5,6	0,5	2,0	1,0	0,9	4,4	0,0	2,0	6,4	68
10 – 20	3,0	4,8	4,0	0,4	3,0	1,0	0,7	5,1	0,0	1,7	6,8	75
20 – 30	3,0	4,2	2,3	0,3	2,0	2,0	0,7	5,0	0,3	1,7	7,0	71

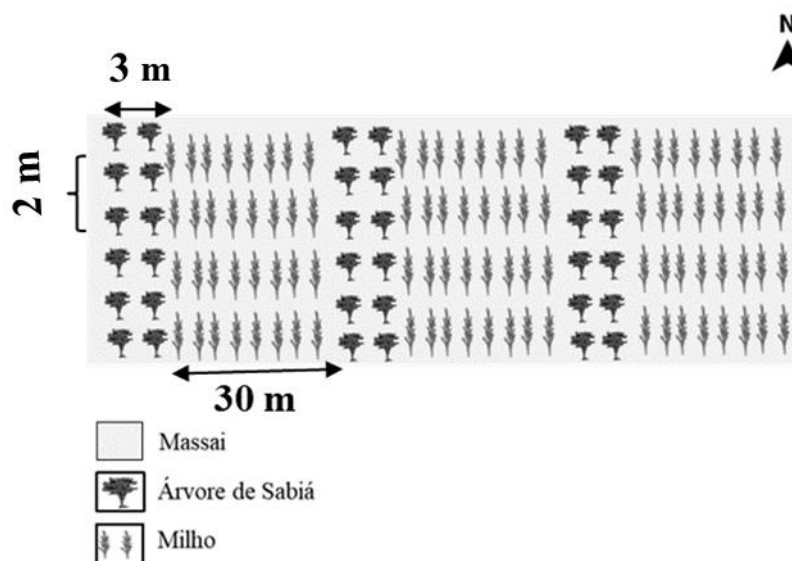
P: fósforo (Mehlich-I); K<sup>+</sup>: potássio; Ca<sup>+2</sup>: cálcio; Mg<sup>+2</sup>: magnésio; Na<sup>+</sup>:sódio; Al<sup>+3</sup>: alumínio; H<sup>+</sup>: hidrogênio; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

**Tabela 2** - Atributos físicos do solo, da área experimental em novembro de 2019.

Profundidade (cm)	AG	AF	Silte	Argila	S/A	Textura
	(2 – 0,02)	(0,02–0,05)	(0,05 – 0,002)	(<0,002)		
	(mm)					
<b>0 – 10</b>	3	78	10	10	1	Franco Arenoso
<b>10 – 20</b>	3	75	8	14	0,5	Franco Arenoso
<b>20 – 30</b>	3	75	9	14	0,6	Franco Arenoso

AG: areia grossa; AF: areia fina; S/A: relação silte argila.

A área experimental com sistema Agrossilvipastoril possui 3 ha, com média de 28 palmeiras de babaçu distribuídas aleatoriamente por hectare, foi implantada no ano de 2017 em substituição à pastagem degradada de massai. O plantio da sábia foi feito em mudas, que foram transplantadas com 50 cm de altura em um espaçamento de 30 × 3 × 2 m entre fileiras duplas, e uma densidade inicial de 276 árvores por hectare. O manejo adotado na sábia foi por meio de podas em 2018 e 2019, retirando os galhos finos e distorcidos, permanecendo de dois a três fustes (ramificação da árvores a partir de 25 cm do solo) por plantas com objetivo de deixa-lós mais retos e grossos com objetivo de obenção de estaca.



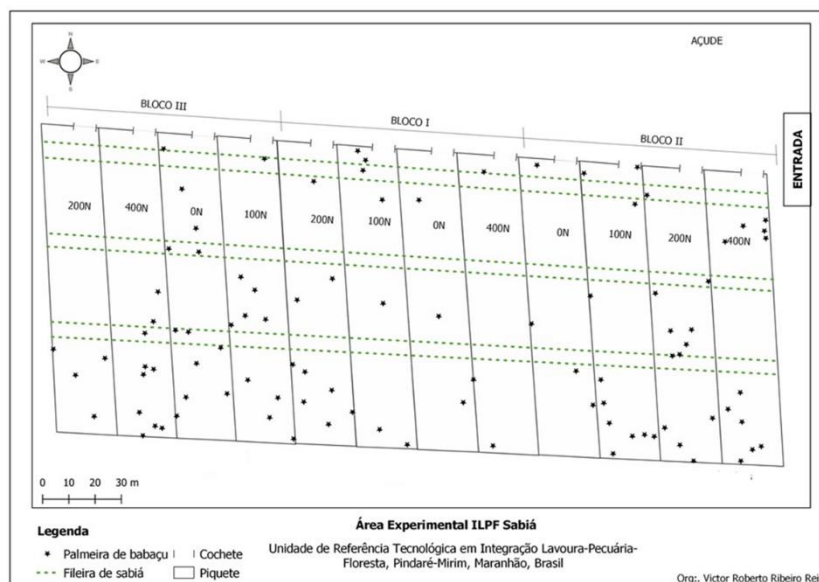
**Figura 2** – Arranjo experimental da sabiá em sistema agrosilvipastoril, na URT de ILPF, da Embrapa Cocais, Pindaré – Mirim, Brasil.

O plantio do milho (*Zea mays* L.) e do pasto foi feito em consórcio, com uma safra de milho híbrido KWS 9304, antes da formação do pasto de massai. Foi utilizada  $1 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário magnesiano para o cultivo do milho, após 15 dias da semeadura foi aplicado uma subdosagem dos herbicidas Atrazina e Nicosulfuron (Dimethylnicotinamide) para atrasar o desenvolvimento do pasto, que associado ao sombreamento do milho diminui a competição por nutrientes do solo. A adubação da cultura do milho foi realizada com base na análise de solo feita em 2017, no mesmo ano de plantio, da seguinte maneira: adubação de plantio =  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula (04 - 30 - 10 + Zn); 1ª adubação de cobertura =  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula (36 - 00 - 30), após 10 dias da emergência do milho; e a 2ª adubação de cobertura =  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula (36 - 00 - 30), 20 dias após a primeira adubação de cobertura.

## 2.2 Descrição e Delineamento Experimental

O experimento foi casualizado em blocos com três repetições, cada bloco com 1 ha que foram subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha, com média de 8 palmeiras de babaçu por piquete. O stand inicial de 51 árvores de sabiá foi dispostos em fileira dupla de  $30 \times 3 \times 2 \text{ m}$ . Cada piquete foi correspondente a um tratamento da combinação do uso de leguminosa, e níveis de adubação nitrogenada, resultando em quatro tratamentos: (0, 100, 200 e  $400 \text{ kg N ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) de acordo com a Figura 3. As adubações nitrogenadas foram realizadas em toda área do piquete, com ureia (46% de N), e parceladas em quatro doses iguais no períodos chuvoso no ano de

2020, nos meses de maio, abril, junho e julho, e em 2021 nos meses janeiro, fevereiro, março e abril (Figura 1). O adubo foi distribuído manualmente após cada intervalo de 28 dias.



**Figura 3** - Croqui da área experimental, na URT de ILPF, da Embrapa Cocais, Pindaré – Mirim, MA, Brasil.

Para manejo dos animais o método utilizado foi de método de pastejo em lotação contínua com carga variável “put and take”, conforme metodologia proposta por Mott e Lucas (1952). O ajuste dos animais nos piquetes foi adaptado conforme recomendação de Sollenberger et al. (2005), ajustando a oferta de forragem por meio da relação direta entre massa de forragem verde seca (MFVS) e o peso corporal (PC) dos animais.

Os animais do experimento eram anelorados, machos não castrados, com peso médio inicial de  $200 \pm 35$  kg de PC, que foram distribuídos e manejados de acordo com a oferta de forragem pretendida de 2 MFVS kg PC<sup>-1</sup>. Foram utilizados dois animais testes por piquete, enquanto que os animais de ajustes eram utilizados de acordo com a disponibilidade de forragem. A pesagem dos animais foi realizada a cada 28 dias após jejum prévio de 12 horas. Controle de endo e ectoparasitas a cada três meses. Tanto o sal mineral quanto a água eram disponibilizados para consumo “ad libitum” em todos piquetes.

### 2.3 Variáveis Dendrométricas da Sabiá

As avaliações da sabiá foram realizadas 3 e 4 anos após sua implantação, em dois períodos, setembro de 2020 e maio de 2021, respectivamente. Foram derrubadas seis árvores

por parcela (uma em cada fileira), totalizando 72 árvores na área experimental. O critério utilizado para selecionar as árvores foi o número de fustes por planta (ramificações entre 0 - 25 cm do solo), sendo duas plantas com um, dois e três fustes (Tabela 3).

**Tabela 3** - Números de fustes da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Nível de N (kg de N ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Número de Fustes por Árvores		
	1	2	3
<b>0</b>	11	21	11
<b>100</b>	8	22	13
<b>200</b>	9	22	6
<b>400</b>	9	16	9

N: nitrogênio.

Foi avaliado o stand, número de árvores por parcela, e nas árvores selecionadas foram avaliados o diâmetro na base (DB), diâmetro na altura do peito (DAP), comprimento do fuste (CF) dos fustes, utilizando uma fita métrica.

Com a medição do comprimento do(s) fuste(s), considerando a porção entre a altura de corte e as últimas ramificações da copa (Moura et al. 2006), foi estimada a altura de Lorey (hL) (Machado e Figueiredo Filho, 2006).

$$hL = \frac{\sum_i^n h_i \times g_i}{\sum_i^n g_i}$$

Em que: hL = altura de Lorey; i = quantidade de fustes; h<sub>i</sub> = comprimento do(s) fuste(s); g<sub>i</sub> = área basimétrica do(s) fuste(s).

A cubagem de cada árvore foi realizada considerando a medição dos diâmetros ao longo dos fustes nas seções a 0 m (base); 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 3,0 m e, a partir daí, a cada metro, até o limite mínimo de 3,0 cm de diâmetro, para a estimativa do volume da madeira, de acordo com a equação de Smalian (Laar e Akça, 2007):

$$\text{Volume total (Vt)} = \sum_{i=1,2,\dots,n}^n V_i = V_1 + V_2 + V_3 + V_n$$

$$V_t = \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \times L \right) + \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \times L \right) + \left( \frac{d_3 \times L_n}{3} \right)$$



Sendo, V1, V2, ... Vn o volume de cada seção ao longo do fuste, d1, d2, ...d3 o diâmetro da seção e L o comprimento da seção correspondente.

## 2.4 Biomassa Aérea e Densidade Básica da Sabiá

A biomassa aérea total e por partes das plantas (folhas e fuste; em que os galhos finos possuíam < 4,9 cm; galhos médios 5 - 10 cm e galhos grossos > 10 cm de circunferência) foram pesados no campo logo após a separação, as subamostras das folhas e dos galhos foram compostas por 500 e 1000 g, nessa ordem.

Após esse processo todas as subamostras foram encaminhadas para a Universidade Estadual do Maranhão e analisadas no Laboratório de Nutrição Animal e Bromatologia – LANAB, sendo estas secas em estufa a 55 °C até peso constante.

A densidade básica dos fustes foi determinada por meio dos volumes de corpos de prova, com 10 cm de comprimento, coletados a 0,5 e 1,5 m do solo, pelo método de imersão em água (Vital 1948) de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (Abnt 2003).

## 2.5 Análise da Composição Química e Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

Para a determinação química as amostras foram retiradas da estufa, pesadas novamente após pré-secagem e moídas em moinho de facas tipo Willey com peneira de malha de 1 mm. Nas frações das folhas e galhos foram avaliadas proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), utilizando a metodologia de análise descrita por Detmann et al. (2012), carbono pela metodologia de Bezerra Neto e Barreto (2011), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina por Van Soest (1973). A fração folha também foi moída em moinho de bola para a determinação de  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e abundância natural do e  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ). A estimativa da  $\delta^{13}\text{C}$  foi realizada de acordo com Unkovich et al. (2008) e Fry (2006), , conforme equação:

$$\text{Atom\% } ^{13}\text{C} = \left( \frac{\delta^{13}\text{C} \times 1,1056}{1000} \right) + 1,1056$$

Para a determinação das proporções do nitrogênio fixado simbioticamente foi utilizada a metodologia da  $\delta^{15}\text{N}$  (Shearer e Kohl 1986; Freitas et al. 2010). Foram colhidas plantas de referência babaçu (*Attalea speciosa* Mart.), cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e mangueira

(*Mangifera indica* L.) que não fixam nitrogênio, crescendo em áreas adjacentes ao experimento dois metros aproximadamente. Nas amostras da sabiá e das plantas de referência foram determinadas as concentrações de  $^{14}\text{N}$  e de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa, na University of Flórida (UF). Com os valores de  $^{14}\text{N}$  e de  $^{15}\text{N}$  das leguminosas e das plantas de referência foram calculados seus valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , que são os desvios por mil (‰) da abundância de  $^{15}\text{N}$  da amostra em relação ao padrão, no caso o  $\text{N}_2$  atmosférico, usando a equação:

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{\left(\frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ da amostra} - ^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ do padrão}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ do padrão}}\right) \times 1000}$$

Em que  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  da amostra e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  do padrão são as razões dos dois isótopos.

Para o cálculo da proporção de N da planta derivado do ar (Ndda) foi usada à equação (Shearer e Kohl, 1986):

$$\%Ndda = (\delta^{15}\text{N} \text{ da referência} - \delta^{15}\text{N} \text{ da fixadora}) * 100 \delta^{15}\text{N} \text{ da referência} - B$$

$$\%Ndda = \frac{(\delta^{15}\text{N} \text{ referência} - \delta^{15}\text{N} \text{ fixadora})}{\delta^{15}\text{N} \text{ referência} - B} \times 100$$

Em que:  $\delta^{15}\text{N}$  das frações das referências e das fixadoras são os desvios (‰) da abundância de  $^{15}\text{N}$  da amostra em relação ao  $\text{N}_2$  atmosférico e B é o valor de  $\delta^{15}\text{N}$  da planta fixadora cultivada na ausência de N. Para a sabiá o valor B = -1,23‰ (Reis et al. 2010).

## 2.6 Análise Estatística

Utilizou-se o procedimento Proc Mixed do SAS (SAS® OnDemand for Academics) para realizar análise de variância. Quando houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ), utilizou-se o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foram considerados como fatores fixos os níveis de adubação e os períodos de avaliação (como procedimento de medidas repetidas) e, como fator aleatório, os blocos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variáveis Dendrométricas da Sabiá

Não houve significância entre os tratamentos para stand de plantas ( $P = 0,4502$ ), DB ( $P = 0,3776$ ), DAP ( $P = 0,3511$ ), CF ( $P = 0,6751$ ), hL ( $P = 0,8127$ ) e Vol ( $P = 0,4534$ ), com média de  $172 \pm 19,44$  árvores  $ha^{-1}$ ;  $8,5 \pm 3,58$  cm;  $6,6 \pm 2,82$  cm;  $5,8 \pm 2,43$  m;  $5,7 \pm 2,37$  m e  $0,7 \pm 0,27$   $m^3$ , respectivamente. Provavelmente o tempo de avaliação não foi suficiente para ter diferença e o uso da ureia não contribuiu como fonte externa de N para as variáveis avaliadas, em sistema agrossilvipastoril com leguminosas fixadoras para os tratamentos impostos. As perdas de N, também podem ter contribuído para ausência de significância dos tratamentos, pois a ureia apresenta alta volatilização refletindo em perdas, principalmente da amônia ( $NH_3$ ) (Fernandes et al. 2015), que variam de 5 a 78% do N aplicado dependendo das condições ambientais (Viero et al. 2017).

Houve efeito ( $P < 0,05$ ) para os períodos de avaliação, nas variáveis dendrométricas indicando o crescimento e desenvolvimento das árvores, em cada período de avaliação (Tabela 4). Ocorreu uma redução de 8% no stand da sabiá da primeira avaliação (setembro/2020) para segunda (maio/2021), correspondente de 180 para 165 plantas  $ha^{-1}$ , nessa ordem (Tabela 4).

**Tabela 4** - Variáveis dendrométricas da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Variável	Período de avaliação		EPM	Valor-P
	Set-2020	Mai-2021		
Stand (árvores $ha^{-1}$ )	180 A	165 B	8,9	0,024
DB (cm)	7,6 B	9,3 A	0,3	<0,001
DAP (cm)	6,0 B	7,2 A	0,2	0,004
CF (m)	4,6 B	7,0 A	0,2	<0,001
hL (m)	4,8 B	6,5 A	0,2	0,001
Vol ( $m^3$ )	0,5 B	0,9 A	0,08	<0,001

DB: Diâmetro da base; DAP: diâmetro à altura do peito; CF: Comprimento do fuste; hL: Altura de Lorey; Vol: Volume da tora; EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Esses resultados podem estar relacionados ao período de escassez hídrica, onde algumas árvores não rebrotaram após a primeira avaliação, além da presença de cupinzeiros, e ventanias recorrentes, provocando tombamento. O déficit hídrico tem efeito

em diversos processos fisiológicos das plantas. Segundo Cairo (1995), a redução ou a interrupção completa da rebrota e crescimento é considerada a primeira e mais séria consequência fisiológica para as plantas ao déficit hídrico, uma vez que compromete o alongamento celular.

Ocorreu diferença significativa ( $P > 0,05$ ) para o DB e DAP, com aumento de aproximadamente 13 e 17%, nessa ordem, entre os dois períodos de avaliação (Tabela 4). O Valor médio de DAP (6 cm) encontrados por Lima (2019), que avaliou sabiá em sistemas agrossilvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., no espaçamento de  $1 \times 1 \times 0,5$  m, na Zona da Mata Norte de Pernambuco, em sete anos foi 17% inferior ao do presente estudo com quatro anos. O resultado de DAP do presente estudo corrobora com os valores indicados por Carvalho et al. (2004) que utilizaram DAP mínimo 7 cm para a produção de estacas com de 2,2 m de comprimento, em sistema agrossilvipastoril. O crescimento ereto das plantas da sabiá e o DAP, são parâmetros que indicam qualidades na madeira comercial (Carvalho, 2007). Possivelmente, o maior espaçamento permitindo maior intensidade luminosa e pode ter contribuído para o desenvolvimento mais rápido da sabiá neste trabalho, além do manejo realizado na sabiá, por meio de podas após o primeiro e segundo ano de plantio, o que contribui para deixá-los mais retos e grossos.

No comprimento do fuste entre os períodos de avaliação houve um aumento significativo ( $P < 0,05$ ) de 40% (Tabela 4). Segundo Ribaski (2003) o incremento médio de crescimento da sabiá é de 1 metro de altura por ano. Isso demonstra que a sabiá nesse experimento apresentou crescimento superior em sistema agrossilvipastoril, cerca de 2 m em apenas 8 meses (intervalo entre as avaliações), nas condições do trópico úmido no período chuvoso. Conforme Apolinário et al. (2015) o crescimento rápido da sabiá é uma vantagem da espécie, em que o maior potencial de produção de biomassa permite uma maior perspectiva futura de lucro, considerando a capacidade produtiva da área implantada.

Para altura de Lorey (hL) houve aumento significativo ( $P < 0,05$ ) de 40% (Tabela 4) entre os períodos de avaliação. Apolinário et al. (2015) encontraram médias de hL de 5 e 6 m de altura entre três e cinco anos de idade das árvores de sabiá, respectivamente, resultado inferior ao presente trabalho em que a sabiá com quatro anos de idade já possuía hL igual a 7 m. As condições climáticas, maior precipitação, favorecendo a umidade do solo, do presente estudo (Figura 1), comparada a Zona da Mata Norte de Pernambuco [média de 1200 mm; Lima (2014)] possivelmente contribuíram com esses resultados. Assim como, o volume da madeira aumento 80% entre a primeira e segunda avaliação da sabiá, resultado

superior ao encontrado por Herrera et al. (2020) cujo volume da sabiá foi de  $0,3 \text{ m}^3$  nas árvores da sabiá com sete anos de idade na Zona da Mata Norte de Pernambuco.

### 3.2 Biomassa Área e Densidade Básica da Sabiá

Não houve diferença para biomassa das folhas ( $P = 0,4503$ ), galhos finos ( $P = 0,6043$ ), médios ( $P = 0,1150$ ), grossos ( $P = 0,1963$ ) e total ( $P = 0,2809$ ) e densidade básica não no DB ( $P = 0,5389$ ) e DAP ( $P = 0,9219$ ), entre os níveis de adubação, com média de  $118 \pm 24,85$ ;  $835 \pm 135,52$ ;  $930 \pm 235,83$ ;  $2865 \pm 760,65$ ;  $4746 \pm 985,35 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $0,8 \pm 0,06$  e  $0,6 \pm 0,01 \text{ g cm}^3$ . Levando em consideração que a eficiência de utilização de N é maior em plantas  $C_4$  (Mérigout et al. 2008), uma vez que menor quantidade da enzima Rubisco é requerida para a assimilação de  $\text{CO}_2$  quando comparado com plantas  $C_3$ , e que maiores taxas fotossintéticas por unidade de N resultam em maiores taxas de desenvolvimento e de expansão foliar (Martins, 2015). Nesse sentido, a assimilação de N no presente estudo pode ter ocorrido de forma mais lenta, já que a sabiá possui metabolismo  $C_3$ .

A biomassa área e densidade básica diferiram ( $P < 0,05$ ) nos períodos de avaliação (Tabela 5). A maior produção de folhas em maio/2021 coincidiu com o período chuvoso (Figura 1). De acordo com Castro Filho et al. (2016), pode-se observar menor quantidade desta fração, provavelmente consequência da queda sazonal das folhas típica de espécies decíduas, durante períodos de baixa pluviosidade. A sabiá é considerada uma espécie caducifólia e evidentemente apresentou queda de folhas no período de menor precipitação (setembro/2020) provavelmente para evitar a perda excessiva de água nesse período, contribuindo para a formação de serapilheira.

**Tabela 5** - Biomassa área e densidade básica da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Variável	Período de avaliação		EPM	Valor-P
	Set/2020	Mai/2021		
<b>Biomassa (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
Folha	23 B	206 A	20	<0,001
<b>Galhos (cm)</b>				
Finos (<4,9)	675	996	123	0,116
Médios (5-10)	696 B	1164 A	105	0,017
Grossos (>10)	2014 B	3716 A	324	0,001
Total	3409 B	6082 A	486	0,002
<b>Densidade (g cm<sup>-3</sup>)</b>				
0,5 m (DB)	0,7 B	0,8 A	0,01	<0,001
1,3 m (DAP)	0,5 B	0,7 A	0,01	<0,001

DB: Diâmetro da base; DAP: diâmetro à altura do peito; EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Embora a fração folhas apresente quantidade reduzida durante o período seco, há potencial para os animais consumirem de forma *in natura* ou conservada. Além disso, as folhas contribuem com a ciclagem de nutrientes, que apresentam maiores teores de nitrogênio e mineralizam mais rapidamente que os galhos, com potencial de cobertura e incorporação de matéria orgânica ao solo, com possível aumento da produtividade do pasto, em longo prazo (Mello et al. 2014).

A fração galhos finos não apresentou diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos e entre os períodos de avaliação. Os galhos finos apresentam velocidade de decomposição mais rápida, em relação aos médios e grossos, de acordo com Apolinário et al. (2016), e servem como alternativa de proteção e retorno de nutrientes na pastagem.

Houve aumento de na segunda coleta, em relação à primeira ( $P < 0,05$ ) da biomassa de galhos médios e grossos, com incrementos de 67 e 84%, respectivamente. O valor comercial das estacas da sabiá conforme a Sefaz (2021), com diâmetro maior que sete cm é estimado aproximadamente entre R\$ 5,17 (com 2,2 m de comprimento), estas estacas, que correspondem aos galhos grossos do presente trabalho, potencialmente podem contribuir no incremento da renda do produtor, principalmente no sistema agrossilvipastoril com sabiá.

Em todos os tratamentos a média foi de 2 fustes por planta (Tabela 3), após quatro anos de cultivo, o stande médio foi de 165 árvores ha<sup>-1</sup> (Tabela 4), levando em consideração que o comprimento médio dos fuste é de 6,9 m (Tabela 4) e que a estaca comercial deve

apresentar 2,2 m, é viável a retirada de 6 estacas por planta totalizando 990 estacas por hectare. O valor comercial da estaca de sabiá no mercado custa R\$ 5,17 (Sefaz 2021), com isso, o acréscimo na renda do produtor com a venda das estacas será de R\$ 5.118,3 por hectare.

Outra alternativa de comercialização da madeira de sabiá é para produção de lenha, após quatro anos de cultivo, considerando o stand médio de 165 árvores ha<sup>-1</sup>, o volume médio de cada árvore de 0,9 m<sup>3</sup> (Tabela 4) e o preço do metro cúbico de lenha na região custa R\$ 30,00, essa produção para lenha agregaria um valor de R\$ 4.257,00 ha ano<sup>-1</sup> na renda do produtor.

A densidade básica da madeira apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as duas avaliações com aumento de 14% e 40% para as distâncias de 0,5 m e 1,3 m do fuste, respectivamente (Tabela 5). A densidade básica da madeira de uma árvore não é homogênea, ela varia na direção radial e na direção axial do tronco (Gonçalves et al. 2010). Os mesmos autores em estudo sobre a caracterização físico-química da sabiá, encontraram valores de densidade básica de 0,78 g cm<sup>-3</sup>, sendo este valor semelhante ao encontrado no presente trabalho, enquanto Nascimento et al. (2017) obtiveram valor médio de 1,04 g cm<sup>-3</sup> na densidade da sabiá, onde confirmaram a excelente qualidade da madeira, assegurando seu uso na construção civil.

### 3.3 Composição Química e Abundância Natural de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$

Não houve significância para as frações folhas e galhos entre os níveis de adubação. Nas folhas as variáveis MM ( $P = 0,4586$ ), N ( $P = 0,8612$ ), C ( $P = 0,3532$ ), C:N ( $P = 0,7352$ ), PB ( $P = 0,8828$ ), FDA ( $P = 0,3880$ ), lignina ( $P = 0,3630$ ) e Lig:N ( $P = 0,3570$ ), apresentaram valores médios de  $86 \pm 5,25$ ;  $23 \pm 0,58$ ;  $404 \pm 4,27$ ;  $147 \pm 3,16$ ;  $263 \pm 15,00$ ;  $152 \pm 11,93$ ;  $19 \pm 0,50$  e  $7 \pm 0,82$  g kg<sup>-1</sup>, nessa ordem. Nos galhos finos as médias da MM ( $P = 0,3578$ ), N ( $P = 0,4848$ ), C ( $P = 0,8911$ ), C:N ( $P = 0,9731$ ) e PB ( $P = 0,5124$ ) foram  $38 \pm 5,00$ ;  $7 \pm 0,00$ ;  $464 \pm 10,72$ ;  $65 \pm 1,41$ ;  $47 \pm 2,22$  de g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos galhos médios, as médias da MM ( $P = 0,5957$ ), N ( $P = 0,7413$ ), C ( $P = 0,2631$ ), C:N ( $P = 0,9844$ ) e PB ( $P = 0,7516$ ) foram  $26 \pm 1,89$ ;  $7 \pm 0,00$ ;  $455 \pm 15,78$ ;  $70 \pm 0,82$ ;  $42 \pm 2,06$  de g kg<sup>-1</sup>, nessa ordem. Nos galhos grossos as médias da MM ( $P = 0,6538$ ), N ( $P = 0,7167$ ), C ( $P = 0,6370$ ), C:N ( $P = 0,8666$ ) e PB ( $P = 0,6983$ ) foram  $17 \pm 1,83$ ;  $7 \pm 0,00$ ;  $445 \pm 7,94$ ;  $64 \pm 2,83$ ;  $44 \pm 1,29$  de g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

A MM na fração folhas apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ), aumentou 66% da primeira para segunda avaliação (Tabela 6). Costa et al. (2017) avaliaram sabiá no semiárido potiguar e encontram concentração de MM de  $90 \text{ g kg}^{-1}$ . A PB aumentou 28%, entre as duas avaliações, a menor concentração coincidiu com a época dos menores registros de precipitação (Figura 1). O N é absorvido pelas raízes por meio do fluxo de massa, sob déficit hídrico há diminuição do movimento de nutrientes pelas raízes devido à baixa absorção de água pela planta (Alves et al. 2011). A disponibilidade de água no solo e a época de aplicação são tão ou mais importantes do que o nível de N aplicado. Esse resultado também pode estar relacionado a queda de folhas ou perda e da qualidade nutritiva na época seca (Castro Filho et al. 2016). A concentração de PB encontrada na sabiá apresentam-se bem acima do mínimo de PB requerido ( $80 \text{ g kg}^{-1}$ ) para manter o equilíbrio entre a ingestão de nitrogênio e a síntese microbiana de compostos nitrogenados no rúmen (Detmann et al. 2014).

**Tabela 6** - Composição química das folhas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Variável	Período de avaliação			Valor - P
	Set/2020	Mai/2021	EPM	
MM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	65 B	108 A	0,38	0,0002
N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	19 B	26 A	0,07	<0,0001
C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	473 A	335 B	0,60	<0,0001
PB ( $\text{g kg}^{-1}$ )	129 B	165 A	0,48	0,0003
FDA ( $\text{g kg}^{-1}$ )	310 A	240 B	0,8	<0,0001
LIG ( $\text{g kg}^{-1}$ )	16	14	0,81	0,1825
C:N	25 A	13 B	0,86	<0,0001
Lig:N	9 A	5 B	0,39	<0,0001

MM: matéria mineral; N: nitrogênio; C: carbono; C:N: relação C:N; PB: proteína bruta; FDA: fibra em detergente ácido; Lig: lignina; Lig:N: relação Lig:N. EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes nas linhas diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As concentrações de C e a relação C:N na fração das folhas apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os dois períodos de avaliação. Para o carbono houve redução de 29%, da segunda avaliação para primeira (Tabela 6). As árvores absorvem C, na forma de  $\text{CO}_2$ , em maiores proporções na fase jovens e de crescimento, o que justifica a maior concentração de C na primeira avaliação (Carvalho et al. 2010). Os mesmos autores ressaltaram ainda que à medida que atingem a maturidade e o crescimento se estabiliza, a



absorção de CO<sub>2</sub> é reduzida e a vegetação entra em estágio de equilíbrio dinâmico. Além disso, as leguminosas arbóreas são potencialmente sequestradoras de carbono em ecossistemas de pastagem.

A relação C:N foi 50% maior na primeira avaliação (período seco), Apolinário et al. (2015) encontraram a relação C:N entre 11-17:1 para folhas da sabiá e observaram médias superiores no período de menor precipitação, corroborando com os resultados do presente estudo. Esses resultados ressaltam o menor potencial de mineralização da matéria orgânica, em comparação a segunda avaliação (período chuvoso). Para Dubeux Júnior e Sollenberger (2020) entre 25:1 e 30:1 é considerada uma relação C:N ótima, essa relação C:N é uma variável que indica o potencial de qualidade e disponibilidade de nutrientes.

A relação Lig:N foi 80% maior ( $P < 0,05$ ) na primeira avaliação (período seco), assim como a menor concentração de N (Tabela 6). Aita e Giacomine (2003), destacaram que elevados teores de lignina proporcionam maior resistência física do material e decomposição mais lenta, reduzindo a disponibilidade do N para o solo, interferindo no processo de decomposição. Houve uma redução 26% para FDA, entre a primeira (período seco) e segunda (período chuvoso) avaliação. Segundo Costa et al. (2016), no período de menor precipitação, a matéria seca é elevada, assim como a proporção de componentes da parede celular, ocorre o aumento dos constituintes fibrosos, principalmente a celulose, já que a lignina foi igual em nos períodos, do presente estudo.

Nos galhos finos as concentrações de MM, N e C:N diferiram ( $P < 0,05$ ) entre os períodos avaliados. A concentração de MM reduziu 46% da segunda para primeira avaliação (Tabela 7). Gonçalves et al. (2010) encontraram concentrações de 45 g kg<sup>-1</sup> de MM na madeira de sabiá aos sete anos de idade, semelhante ao encontrado no presente trabalho. Esses mesmos autores destacam que a resistência natural da madeira de sabiá ao ataque de cupins e outros organismos xilófagos estar relacionada ao aumento nas concentrações de MM, isso pode ter ocorrido em função da dificuldade dos cupins escarificarem madeira com maiores concentrações de MM (substâncias abrasivas), que podem danificar suas mandíbulas, reduzindo seu potencial de ataque.

**Tabela 7** - Composição química dos galhos da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Período de avaliação	MM	N	C	C:N	PB
<b>Galho Fino (&lt; 4,9 cm circunferência)</b>					
Set/20	50 A	6 B	479	74 A	45
Maio/21	27 B	8 A	450	56 B	50
EPM	0,35	0,03	1,28	4,18	0,23
Valor-P	0,0008	0,0116	0,1973	0,0019	0,0757
<b>Galho Médio (5 – 10 cm circunferência)</b>					
Set/20	29	6 B	466	77 A	41
Maio/21	23	7 A	445	62 B	45
EPM	0,22	0,03	0,72	2,65	0,18
Valor-P	0,1459	0,0185	0,0499	0,0094	0,1275
<b>Galho Grosso (&gt;10 cm circunferência)</b>					
Set/20	15 B	6 B	460 A	70	42
Maio/21	20 A	7 A	430 B	60	45
EPM	0,15	0,02	0,68	2,91	0,14
Valor-P	0,0369	0,0189	0,0153	0,072	0,1738

MM: matéria mineral; N: nitrogênio; C: carbono; C:N: relação C:N; PB: proteína bruta; EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes na coluna, para cada variável, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O N nos galhos finos cm aumentaram 17%, da primeira para segunda avaliação maiores, coincidido com o período de maior precipitação (Figura 1). Caldas et al. (2009) relataram que há um maior transporte de nutrientes para as plantas no período chuvoso, aumentando as concentrações de N. A relação C:N para os galhos finos foi maior 24% na primeira avaliação, normalmente os galhos finos ficam depositados no solo, visto que não possuem finalidade comercial, com isso essa fração é indicada no processo de recuperação de áreas degradadas, já que adicionam C e N com decomposição mais lenta, fornecendo material formador de serapilheira no local (Apolinário et al. 2015). Lin et al. (2012) concluíram que espécies com menor taxa de decomposição, liberam mais lentamente CO<sub>2</sub>, contribuindo com uma menor intensificação do efeito estufa, além disso, garantem a cobertura do solo por mais tempo, contribuindo assim com a matéria orgânica do solo.

Nos galhos médios, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os períodos de avaliação para as variáveis N e C:N. Quando a relação C:N é superior a 30:1, o nitrogênio fica imobilizado e, como consequência, ocorre redução na disponibilidade de N no solo (Dubeux Júnior e Sollenberger 2020). O N nesses galhos aumentou 17%, da primeira para segunda avaliação, e sua concentração foi menor do que nas folhas. Apolinário et al. (2015)

encontraram as concentrações de N nos galhos da sabiá de 4 -12 g kg<sup>-1</sup> com 5,5 anos de idade, resultado superior ao atual trabalho.

Nos galhos grossos, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para variáveis MM, N e C. A concentração de C diminuiu 6%, entre as avaliações, enquanto que a MM e N aumentaram 33 e 17%, respectivamente, entre a primeira e segunda avaliação. Klatau (2008), destacou que altas concentrações de MM na madeira podem diminuir o poder calorífico da madeira da sabiá que é indicada para a produção de carvão vegetal, em função das suas características físico-químicas, como alto poder calorífico de 17,48 MJ kg<sup>-1</sup>, segundo Apolinário et al. (2016), essa alta concentração de MM diminuiria a transferência de calor contida na combustão.

Não foi observado efeito ( $P > 0,05$ ) para  $\delta^{13}\text{C}$  dentro dos níveis de adubação nitrogenada (Tabela 8), média de -32,31‰. Herrera et al. (2021), trabalhando com sabiá consorciada com *U. decumbens* Stapf em um sistema silvipastoril na Zona da Mata Norte de Pernambuco, encontraram valores próximos de -35,4‰ de  $\delta^{13}\text{C}$ . Os resultados encontrados no presente trabalho também evidenciaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  conforme o referenciado Sena-Souza et al. (2019) para plantas de metabolismo fotossintético C3 (-37 a -20 ‰).

**Tabela 8** - Abundância natural de <sup>15</sup>N e <sup>13</sup>C folhas da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Variável	Nível de N (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )				EPM	Valor – P	Regressão	R <sup>2</sup>
	0	100	200	400				
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	0,07 B	0,86 AB	1,04 A	1,73 A	0,3	0,007	Y = 0,12 + 0,006x	0,7
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	-32,52	-32,43	-32,42	-32,17	0,3	0,192		
Ndda (%)	77 A	57 AB	53 B	43 B	0,3	0,003	Y = 75,57 - 0,177x	0,8

$\delta^{15}\text{N}$ : abundância natural de <sup>15</sup>N;  $\delta^{13}\text{C}$ : abundância natural de <sup>13</sup>C; Ndda: nitrogênio derivado do ar. EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A  $\delta^{15}\text{N}$  diferiu entre os níveis de adubação nitrogenada, com os maiores valores encontrados para o tratamento de 100, 200 e 400 kg de N ha ano<sup>-1</sup>, com 0,86, 1,04 e 1,73 ‰, respectivamente (Tabela 8). Freitas et al. (2015) destacam que normalmente, o N da matéria orgânica do solo (MOS) são mais enriquecidos em <sup>15</sup>N em relação ao N<sup>2</sup> atmosférico e, por isso, acredita-se que as árvores desses tratamentos (100, 200 e 400 kg de N ha ano<sup>-1</sup>) retiraram maior parte do seu N do solo via adubação nitrogenada e foram mais abundantes em <sup>15</sup>N, do que as árvores do tratamento que não teve adubação (controle), e absorveram parte do seu N do

ar. Considerando os períodos de avaliação, em maio/2021 foi observado valor superior de  $\delta^{15}\text{N}$  (1,86 ‰) (Tabela 9), em concordância com a maior concentração de N (26 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 9).

Valores mais negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  foram observados em setembro/2020 (Tabela 9), mês de menor precipitação (Figura 1). Este resultado, provavelmente, é consequência do controle da abertura e fechamento estomático, mecanismos que regulam a perda de água da planta para o ambiente, o que pode limitar o suprimento de CO<sub>2</sub> (Cornwell et al. 2018). As maiores taxas fotossintéticas podem gerar menor discriminação do <sup>13</sup>C e, em consequência, maior  $\delta^{13}\text{C}$ . Além disso, a discriminação isotópica de carbono nas folhas aumenta com a redução da concentração de N (Cernusak et al. 2013), o que corrobora com os resultados obtidos no presente estudo, pois em setembro/2020 houve maior abundância de  $\delta^{13}\text{C}$  (-31,56‰) (Tabela 9) e menor concentração de N (19 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6), em relação a maio/2021 com menor abundância de  $\delta^{13}\text{C}$  (-33,24‰) e maior concentração de N (26 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6).

**Tabela 9** - Abundância natural de <sup>15</sup>N, <sup>13</sup>C e nitrogênio derivado da atmosfera das folhas da sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril, no município de Pindaré Mirim – MA.

Período de avaliação	Ndda (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Set/20	41,94 B	-0,01 B	-31,56 A
Mai/21	72,64 A	1,86 A	-33,24 B
EPM	5,03	0,16	0,13
Valor-P	0,0001	0,0001	0,0001

$\delta^{15}\text{N}$ : abundância natural de <sup>15</sup>N;  $\delta^{13}\text{C}$ : abundância natural de <sup>13</sup>C; Ndda: Nitrogênio derivado da atmosfera EPM: erro padrão da média. Letras maiúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

O teor de nitrogênio derivado da atmosfera (%Ndda) foi maior nos tratamentos de 0 e 100 kg N ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> com 76,77 e 56,84%, respectivamente (Tabela 11). Estes resultados ressaltam que o crescimento dos nódulos nas raízes é sensível a altos níveis de N, que contribuem para diminuição do processo de fixação via Ndda (Parente, 2014). Quanto os períodos de avaliação o %Ndda foi 73% maior no segundo período de avaliação (maio/2021) (Tabela 12). Dubeux Júnior e Sollenberger et al. (2020) indicaram que a quantidade de N fixado por leguminosas em pastagens varia com a estação do ano, espécie forrageira, gramínea associada e intensidade de manejo do pastejo. A FBN está diretamente ligada ao teor de umidade do solo, pois solo com baixa umidade compromete seriamente a formação de nódulos,

que inviabilizam o sistema simbiótico ocasionando falhas na nodulação, e assim reduzindo a eficiência da FBN (Hungria e Vargas 2000).

A partir da deposição anual de folhas da serapilheira reportada por Apolinário (2014), na Zona da Mata Norte de Pernambuco para sabiá ( $4.052 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), e das concentrações de N (Tabela 9) e %Ndda (Figura 4) obtidas no presente trabalho, foi estimada a fixação de N derivado da atmosfera, resultando em 71,5; 50,7; 46,9 e 38,3  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para os tratamentos de 0, 100, 200 e 400  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente. Lima (2019) avaliando a sabiá em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf. encontraram 84  $\text{kg Ndda ha}^{-1}$  nas folhas de sabiá, já Apolinário et al. (2015) realizaram o corte de sabiá com 5 anos de cultivo e encontraram valores de 72,5  $\text{kg Ndda ha}^{-1}$  nas folhas de sabiá.

#### 4. CONCLUSÕES

Em sistema agrossilvipastoril, nas condições do trópico úmido, os níveis de adubação nitrogenada não aumentaram a dendrometria, biomassa área, densidade básica e composição química da sabiá.

Os menores níveis de adubação (0 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) proporcionaram maior fixação de N derivado da atmosfera. Portanto a adubação nitrogenada não contribui para um maior desenvolvimento da sabiá.

## REFERÊNCIAS

- Aita, C.; S. J. Giacomini. 2003. Crop residue decomposition and nitrogen release in single and mixed cover crops. *R. Bras. Ciênc. Solo*. 27:601-612.
- Apolinário, V. X. O. (2014). Contribuição de leguminosas arbóreas em sistemas silvipastoris com *Brachiaria decumbens* Stapf. 2014. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal do Ceará.
- Apolinário, V. X. O.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Lira, M. A.; Ferreira, R. L. C.; Mello, A. C. L.; Coelho, C. D. L.; Muir, J. P.; Sampaio, E. V. S. B. (2016). Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. *Crop Science*, v.1, n.3, p.1-24. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.09.0588>
- Apolinário, V. X. O.; Dubeux, J. C. B.; Jr.; Lira, M. A.; Ferreira, R. L. C.; Mello, A. C. L.; Santos, M. V. F.; Sampaio, E. V. S. B.; Muir, J. P. (2015). Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. *Agronomy Journal*. v. 107, p. 1915-1921. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0624>
- Araújo, E. P.; Dias, L. J. B. S; Catunda P. H. A. (2019). Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico. São Luís: IMESC, 2019.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas - Abnt. (2003). Normas Técnicas. NBR 11941: densidade básica da madeira. Rio de Janeiro, p. 6.
- Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. (2004). Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, p. 900.
- Caldas, G. G.; Dos Santos, M.; Júnior, L.; Ferreira, R.; Da Cunha, M.; Lira, M. D. A.; Galdino, A. C. (2010). Caracterização morfológica e química de *Mimosa caesalpiniiifolia* submetida à adubação com P. *Archivos de Zootecnia*, v. 59, n. 228, p. 529–538.
- Carvalho, F. C.; Garcia, R.; De Araújo Filho, J. A.; Couto, L.; Neves, J. C. L.; Rogério, M. C. P. (2004). Manejo in situ da sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) para produção simultânea de madeira e forragem, em um sistema silvipastoril. Embrapa Caprinos e Ovinos.
- Carvalho, J. L. N.; Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; Mello, C. R.; Cerri, C. E. P. (2010). Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 34, n. 2, p. 277-289. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>
- Carvalho, P. E. R. (2007). Sabiá - *Mimosa caesalpiniiifolia*. Circular técnica, 135. Colombo: Embrapa Florestas.
- Castro Filho, E. S.; Muniz, N. E.; Rangel, J. H. A.; Santos, R. A.; Neto, A. S.; Araújo, H. R. (2016). Dry matter yield and bromatological composition of *Gliricidia* in different crop densities. *Ciência Rural*, v. 46, n. 6, p. 1038–1043. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150782>

Cernusak, L. A.; Ubierna, N.; Winter, K.; Holtum, J. Aa. M.; Marshall, J. D.; Farguhar. (2013). Environmental and physiological determinants of carbon isotope discrimination in terrestrial plants. *New Phytologist*, v. 200, n. 4, p. 950–965. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12423>

Chará, J.; Reyes, E.; Peri, P.; Otte, J.; Arce, E.; Schneider, F. (2019). Silvopastoral systems and their contribution to improved resource use and sustainable development goals: Evidence from Latin America. Cali, Colombia: FAO, CIPAV and Agri Benchmark.

Cornwell, W. K.; Wright, I. J.; Turner, J.; Maire, V.; Barbour, M. M.; Cernusak, L. A. ; Dawson, T.; Ellsworth, D.; Farquhar, G. D.; Griffiths, H.; Keitel, C.; Knohl, A.; Reich, P. B.; Williams, D. G.; Bhaskar, R.; Cornelissen, J. H. C.; Richards, A. ; Schmidt, S.; Valladares, F. ; Körner, C. Schulze, E.-D.; Buchmann, N.; Santiago, L. S. (2018). Climate and soils together regulate photosynthetic carbon isotope discrimination within C<sub>3</sub> plants worldwide. *Global Ecology and Biogeography*. 27, 1056–1067. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12764>

Costa, S. B. D. M.; de Mello, A. C.; Dubeux Jr, J. C.; dos Santos, M. V.; Lira, M. D. A.; Oliveira, J. T.; Apolinário, V. X. (2016). Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 5, p. 2026–2035. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0180>

Costa, S. E. L.; Patrocínio, E. S. A.; Bezerra, I. C. (2017). Efeito do método de cultivo no potencial energético da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth) implantada no semiárido potiguar. In: II Congresso Internacional Da Diversidade Do Semiárido, Campina Grande/Pb.

Detmann, E.; Paulino, M. F.; de Campos Valadares Filho, S.; Huhtanen, P. (2014). Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: a review based on Brazilian results. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2829-2854. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2829>

Detmann, E.; Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.; Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Pina, D. S.; Ladeira, M. M.; Azevêdo, J. A. G. (2012). Métodos para análise de alimentos – INCT – Ciência Animal. 1ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, p. 214. Dubeux Júnior, J. C. B.; Sollenberger, L. E. Nutrient cycling in grazed pastures. (2020). In: Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures. Academic Press, 2020. p. 59-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814474-9.00004-9>

Dubeux, Júnior. C. B.; Muir, J. P.; Apolinário, V. X. D. O.; Nair, P. K.; Lira, M. D. A.; Sollenberger, L. E. (2017). Tree legumes: an underexploited resource in warm-climate silvopastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, p. 689-703. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000800010>

FAO/OECD. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029. [S. l.: s. n.], 2020. E-book. Disponível em:< <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>>. Acesso em: 27 de janeiro de 2022.

Fernandes, J. C.; Buzetti, S.; Dupas, E.; Teixeira Filho, M. C. M.; Andreotti, M. Sources and rates of nitrogen fertilizer used in Mombasa guineagrass in the Brazilian Cerrado region. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, p. 2076-2082, 2015.



Freitas, A. D. S. De; Sampaio, E. V. De S. B.; Ramos, A. P. De S.; Barbosa, M. R. De V.; Lyra, R. P.; Araújo, E. L. (2015). Nitrogen isotopic patterns in tropical forests along a rainfall gradient in Northeast Brazil. n v. 391, n. 1-2, p. 109-122.

Freitas, A. D. S.; Sampaio, E. V. S. B.; Santos, C. E. R. S. (2010). Abundância natural do  $^{15}\text{N}$  para quantificação da fixação biológica do nitrogênio em plantas. In: Figueiredo, M. V. B.; Burity, H. A.; Oliveira, J. P.; Santos, C. E. R. S.; Stamford, N. P. (editors.). *Biotecnologia Aplicada à Agricultura: Textos de Apoio e Protocolos Experimentais*. Recife. p. 505-517.

Fry, B. (2006). *Stable Isotope Ecology*. New York, NY, USA: Springer.

Gonçalves, C. D. A.; Lelis, R. C. C.; Abreu, H. D. S. (2010). Caracterização físico-química da madeira de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Revista Caatinga*, 23(1), 54-62.

Herrera, A. M, Mello, A. C. L; Mello, A. C. L.; Apolinário, V. X. O; Dubeux Jr, J. C. B.; Cunha, M. V.; Santos, M. V. F. (2021) Potential of *Gliricidia sepium* (Jacq) Kunth ex Walp and *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. in silvopastoral systems intercropped with signalgrass [*Urochloa decumbens* (Stapf). *Agrofor Syst*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00625-7>

Herrera, A. M.; Mello, A. C. L.; Apolinário, V. X. O; Dubeux Jr, J. C. B.; Silva, V. J.; Santos, M. V. F, Cunha, M. V. (2020). Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. *Agroforest Systems*, v. 94, n. 6, p. 2213-2224, 2020. DOI: 10.1007/s10457-020-00542-1

Hungria, M.; Vargas, M. A. T.; (2000). Environmental factors affecting  $\text{N}_2$  fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crop Res*. 65, 151– 164. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00084-2)

Imaña-Encinas, J.; Rezende, A.V.; Imaña, C.R.; Santana, O.A. Contribuição dendrométricas nos levantamentos fitossociológicos. Brasília: Universidade de Brasília, 2009. 46p.

Instituto Nacional De Meteorologia. Banco De Dados Meteorológicos 2011-2021. (2021). Disponível em: [https://bdmep.inmet.gov.br/\\$2a\\$10\\$j4Esk4gTDEUeXnqc56h5CuoiHJJxCLHNZTPq.VIhBs.vSCLK1jnm.zip](https://bdmep.inmet.gov.br/$2a$10$j4Esk4gTDEUeXnqc56h5CuoiHJJxCLHNZTPq.VIhBs.vSCLK1jnm.zip). Acessado em 24 outubro de 2021.

Klautau, J. V. P. (2008). Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba.

Laar, A. V; Akça, A. (2007). *Forest Mensuration*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Lima, H. N. D. B. (2019). Potencial produtivo de sistemas silvipastoris na zona da mata de Pernambuco. 111-111.

Lin, H.; Hong, T. C.; Wu, H.; Chen, C.; Chen, J.; Li, Y.; Fan, H. L. (2012). Monthly variation in litterfall and the amount of nutrients in an *Aleurites montana* plantation. *Forestry Studies in China*. 14: 30-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11632-012-0109-2>

Ives, F. A.; Ferreira-Silva, S. L.; da Silveira, J. A.; Pereira, V. L. (2011). Efeito do Ca<sup>2+</sup> externo no conteúdo de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> em cajueiros expostos a salinidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.602-608, 2011.

Machado, S. A.; Figueiredo Filho, A. (2006). *Dendrometria*. 2 ed. Guarapuava: Editora Unicentro, 316 p.

Martins, P. G. S.; Júnior, M. A. L.; Fracetto, G. G. M.; da Silva, M. L. R. B.; Vincentin, R. P.; de Lyra, M. D. C. C. P. (2015). *Mimosa caesalpiniiifolia* rhizobial isolates from different origins of the Brazilian Northeast. *Archives of Microbiology*. 197(3), 459-469.

Martins, R. N. L.; Nóbrega, R. S. A.; Silva, A. F. T.; Nóbrega, J. C. A.; Amaral, F. H. C.; Costa, E. M.; Lustosa Filho, J. F.; Martins, L. V. (2013). Nitrogênio e micronutrientes na produção de grãos de feijão-caupi inoculado. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 4, p.1577-1586, DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n4p1577>

Mello, A. C. L.; Costa, S. B. M.; Dubeux Jr, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Apolinário, V. X. O.; Tenório Filho, F.; Meireles, M. S.; Pereira, C. G. (2014). Pasture characteristics and animal performance in a silvopastoral system with *Brachiaria decumbens*, *Gliricidia sepium* and *Mimosa caesalpiniiifolia*. *Tropical Grasslands-Forrajões Tropicales*, v. 2, n. 1, p. 85–87. DOI: [https://doi.org/10.17138/tgft\(2\)85-87](https://doi.org/10.17138/tgft(2)85-87)

Mendes, I. C.; Reis Júnior, F. B.; Hungria, M.; Sousa, D. M. G.; Campo, R. J. (2008). Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p.1053-1060. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800015>

Mérigout, P; Lelandais, F.; Bitton, F. (2008). Urea use efficiency of hydroponically grown maize and wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 427–443. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904160801894970>

Mott, G. O.; Lucas, H. L. (1952). Thedensing, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *International Grass Land Congress*, 6, 1952, Pennsylvania. Proceeding. Pennsylvania: State College Press, p.1380-1385.

Moura, O. N.; Passos, M. A. A.; Ferreira, R. L. C.; Molica, S. G.; Lira Jr, M. A.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F. (2006). Distribuição de biomassa e nutrientes na área de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. *Revista Árvore*. 30:877-884

Naranjo, J. F.; Cuartas, C. A.; Murgueitio, E.; Chará, J.; Barahona, R. (2012). Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, v. 24, p. 15.

Nascimento, M. F.; Almeida, D. H.; Almeida, T. H.; Christoforo, A. L. E.; Lahr, F. A. R. (2017). Physical and Mechanical Properties of Sabiá Wood (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). *Current Journal of Applied Science and Technology CJASt*, 25(4): 1-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/CJASt/2017/38747>

Neves, A. L. A.; Pereira, L. G. R.; Verneque, R. S.; Azevedo, J. A. G.; Vieira, P. A. S.; Santo, R. D. (2014). Tabelas nordestinas de composição de alimentos para bovinos leiteiros. Embrapa Brasília, DF.

Parente, T. D. L. (2014). Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada à inoculação em semeadura direta no Cerrado. 49f.

Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. 2007. Hydrol Earth Syst Sci. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Reis Jr, F. B.; Simon, M. F.; Gross, E. C.; Rubio, M. C.; Faria, S. M.; Bontemps, S. R.; Goi, J. P. W.; Young, J. I.; Sprent, E. K. (2010). Nodulation and nitrogen fixation by *Mimosa* spp. in the Cerrado and Caatinga biomes of Brazil, *New Phytologist*.186:934-946. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03267.x>

Ribaski, J.; Lima, P. C. L.; Oliveira, V. R.; Drumond, M. A. (2003). Colombo: Embrapa Florestas, p. 4, (Comunicado Técnico, 104).

Secretária de Estado da Fazenda do Maranhão. 2021. Disponível em:< <https://sistemas1.sefaz.ma.gov.br/portalsefaz/pdf?codigo=2081>>.

Sena, V. G.; De Moura, E. G.; Macedo, V. R.; Aguiar, A. C.; Price, A. H.; Mooney, S. J.; Calonego, J. C. (2020). Ecosystem services for intensification of agriculture, with emphasis on increased nitrogen ecological use efficiency. *Ecosphere*, 11(2), 03028. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3028>

Sena-Souza, J. P.; Costa, F. J. V.; Bielefeld, G. (2019). Background and the use of isoscapes in the Brazilian context: essential tool for isotope data interpretation and natural resource management. *Revista Ambiente e Água*, v. 14, n. 2, p. e2282. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2282>

Shearer, G.; Kohl, D. H. (1986). N<sub>2</sub>-fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 13, n. 6, p. 699–756.

Sollenberger, L. E.; Moore, J. E.; Allen, V. G.; Pedreira, C. G. S. (2005). Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, v. 45, n. 3, p. 896–900. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0216>

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (2017). Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de análises de métodos de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, EMBRAPA, p. 574.

Unkovich, M.; Herridge, D.; Peoples, M.; Boddey, B.; Giller, K.; Alves, B.; Chalk, P. (2008). Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australia: ACIAR Monograph.

Van Soest, P. J. (1973). Collaborative study of acid-detergent fiber and lignin. *Journal of the AOAC*, v. 56, n. 4, p. 781–784. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/56.4.781>

Vital, B. R. (1984). Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG: SIF.  
Vitória, A. P.; Ávila-Lovera, E.; de Oliveira Vieira, T.; do Couto-Santos, A. P. L.; Pereira, T. J.; Funch, L. S.; Santiago, L. S. (2018). Isotopic composition of leaf carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen

( $\delta^{15}\text{N}$ ) of deciduous and evergreen understorey trees in two tropical Brazilian Atlantic forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 34, n. 2, p. 145–156. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467418000093>

### CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO ANIMAL E DE *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL, SOB NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA.

#### RESUMO

Leguminosas arbóreas, que fazem fixação biológica de nitrogênio tem potencial de aumentar a diversidade de produtos e renda, e e reduzir a dependência por insumos químicos em sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se quantificar as biomassas e nutrientes do capim massai (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Massai) e da sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) e estimar as abundâncias naturais de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminosa arbórea, sob níveis de adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril. O delineamento experimental foi casualizado em blocos, com três repetições. Cada bloco de 1 ha foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelorados, com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, permanecendo dois animais por piquete. No massai foi avaliado a massa de forragem total (MFT), densidade da forragem (DF), PB e MM da forragem verde (PBFV; MMFV) e senescente (PBFS; MMFS), além das variáveis relativas aos animais [taxa de lotação (TL), ganho médio diário (GMD) e ganho médio por área (GPA)]. Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. No massai, a MFT variou de 552 (ago/2020) a 2216 kg ha<sup>-1</sup> (fev/2021). A DF variou de 14 (dez/2020) a 84 a kg de MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (fev/2021). As concentrações de PBFV variaram de 83 (out/2020) a 118 g kg<sup>-1</sup> (mar/2021). A MMFV diferiu apenas no mês de março e abr/2020 com 124 e 127 g kg<sup>-1</sup>. A TL variou de 3,4 a 5,1 UA ha<sup>-1</sup> entre jun/2020 e fev/2021. O GMD e GPA foram maiores nos períodos com maior precipitação, com variações de 0,03 kg PC dia<sup>-1</sup> e 0,1 kg PC ha<sup>-1</sup> para 0,75 kg PC dia<sup>-1</sup> e 3,4 kg PC ha<sup>-1</sup> nos meses de ago/2020 e abr/2021, respectivamente. A adubação nitrogenada não aumentou a produção e composição química do capim massai e o desempenho animal, em sistemas agrossilvipastoril com leguminosa arbórea. Possivelmente a sabiá contribuiu com a entrada de N<sub>2</sub> no solo, disponibilizando para a absorção do massai, o que proporcionou concentrações de PB no pasto, que não recebeu adubação.

**Palavras-chave:** degradação; ganho médio diário; produtividade de pastagens, taxa de lotação

### CHAPTER 3. ANIMAL AND *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI PERFORMANCE IN AGROSSILVIPASTORIL SYSTEM, UNDER NITROGEN FERTILIZATION LEVELS.

#### ABSTRACT

Tree legumes that perform biological nitrogen fixation have the potential to increase product diversity and income, and reduce dependence on chemical inputs in agrosilvopastoral systems. The objective was to quantify the biomass and nutrients of massai grass (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Massai) and sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) and to estimate the natural abundances of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  via leguminous trees, under nitrogen fertilization levels in an agrosilvopastoral system. The experimental design was randomized in blocks, with three replications. Each 1 ha block was subdivided into four 0.25 ha paddocks. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of N, the fertilizations were with urea. Ringed steers were used, with initial average body weight (BW) of  $200 \pm 35$  kg, with two animals per paddock. In the Massai, the total forage mass (MFT), forage density (DF), CP and MM of green forage (PBFV; MMFV) and senescent (PBFS; MMFS) were evaluated, in addition to the variables related to the animals [stocking rate (TL), average daily gain (GMD) and average gain per area (GPA)]. The SAS Proc Mixed program was used and the means of each treatment were compared using the Tukey test, at a 5% probability level. In the Massai, the MFT ranged from 552 (Aug/2020) to 2216 kg ha<sup>-1</sup> (Feb/2021). The DF ranged from 14 (Dec/2020) to 84 kg of DM ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (Feb/2021). PBFV concentrations ranged from 83 (Oct/2020) to 118 g kg<sup>-1</sup> (Mar/2021). MMFV differed only in March and Apr/2020 with 124 and 127 g kg<sup>-1</sup>. The TL ranged from 3.4 to 5.1 AU ha<sup>-1</sup> between Jun/2020 and Feb/2021. The ADG and GPA were higher in the periods with greater precipitation, with variations from 0.03 kg BW day<sup>-1</sup> and 0.1 kg BW ha<sup>-1</sup> to 0.75 kg BW day<sup>-1</sup> and 3.4 kg BW ha<sup>-1</sup> in the months of Aug/2020 and Apr/2021, respectively. Nitrogen fertilization did not increase the production and chemical composition of Massai grass and animal performance in agrosilvopastoral systems with tree legume. Possibly, the thrush contributed to the entry of N<sub>2</sub> into the soil, making it available for the absorption of the massai, which provided concentrations of CP in the pasture, which did not receive fertilization.

**Keywords:** degradation; average daily gain; pasture productivity, stocking rate

## 1 INTRODUÇÃO

As pastagens pela sua praticidade e economia em relação aos alimentos concentrados, representam a principal fonte alimentar dos ruminantes, e a base de sustentação da pecuária brasileira, atividade que apresenta grande potencial produtivo pela disponibilidade de área e características das espécies forrageiras (Bustamante et al. 2012). Mas, as áreas de pastagens com indício de degradação no Brasil são um dos principais problemas que afetam a viabilidade econômica da produção animal e sustentabilidade do sistema de produção agropecuária (Valle Júnior et al. 2019). Da área total de pastagem no Brasil, 43% encontram-se não degradadas; e 17%, 16% e 24% apresentam estado de degradação leve, moderada e severa, respectivamente (Lapig 2021).

No Maranhão, cerca de 46,6% do território está ocupado por áreas de pastagens, 38% compreende as pastagens cultivadas e o rebanho bovino apresenta 5,4 milhões de animais (IBGE 2019). O estado é caracterizado por duas épocas bem definidas, uma chuvosa e outra seca, o que leva a uma sazonalidade na produção de animais. Na busca por minimizar esses efeitos na produção agropecuária, vem sendo estudadas alternativas de produção a pasto com utilização de espécies forrageiras adaptadas às condições climáticas adversas no Maranhão (Oliveira et al. 2016).

O sistema agrossilvipastoril integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, em sinergia, na mesma área de cultivo (Oliveira et al. 2018), é uma alternativa que tem sido muito utilizado para renovar e recuperar pastagens degradadas (Salton et al. 2014), além disso, a introdução de leguminosas arbóreas que fixam biologicamente nitrogênio (FBN) nesse sistema, torna-se uma opção mais econômica por reduzir o N mineral (Terra et al. 2019).

Dentre as cultivares de *Megathyrus maximus* Jacq, a cultivar massai destaca-se em sistemas agrossilvipastoris pela alta capacidade de emissão de folhas, perfilhos e rebrotação após o pastejo (Emericiano Neto et al. 2016), pelo potencial produtivo, com média de 13 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, capacidade de suporte, desempenho animal, boa palatabiliade e por não apresentar princípios tóxicos ou anti-nutricionais (Andrade, 2014). Segundo Valadares Filho et al. (2017) apresenta uma composicao química com 93% de matéria orgânica, 8% de proteína bruta, 70% de fibra em detergente neutro, 42% de fibra em detergente ácido e 5% de lignina. Martuscello et al. (2015) ao realizarem estudos sobre a adaptabilidade do capim-massai adubado com nitrogênio pode indicar o potencial de uso dessa forrageira na região Nordeste.

O uso estratégico da adubação de pastagens com nitrogênio (N) principalmente no período de maior precipitação pluviométrica pode contribuir com um maior valor nutritivo do

pasto (Teixeira et al. 2011), por isso avaliar a composição química das plantas forrageiras é essencial para a determinação do sistema de manejo nutricional empregado que busque maximizar a eficiência alimentar (Campos et al. 2010) e refletir diretamente em maiores índices de desempenho dos animais, intensificando o sistema de produção (Dupas et al. 2016).

A produtividade animal, o ganho por área, varia em função do desempenho individual dos animais e da taxa de lotação dos pastos utilizados (Difante et al. 2010). O desempenho individual é influenciado pelo seu potencial genético e pela quantidade e qualidade de forragem ofertada (Emerenciano Neto et al. 2018), além das características fenológicas e estruturais da forrageira, como a altura, densidade da biomassa vegetal, relação folha: colmo e proporção de material seco (Lemos et al. 2012).

A hipótese da pesquisa é que o uso de leguminosa fixadora de N e/ou adubação nitrogenada aumentam o desempenho animal e a produtividade do capim massai em sistema agrossilvipastoril, nas condições de trópico úmido maranhense. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho animal, produção e composição química do capim massai, sob níveis de adubação nitrogenada.



## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização, Histórico e Delineamento da Área Experimental**

O experimento foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica em Integração Lavoura Pecuária Floresta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Cocais em Pindaré Mirim – MA, o histórico e delineamento da área experimental estão descritos no Capítulo 2.

### **2.2 Avaliação da Produção do Capim Massai**

A cada 28 dias (período do ciclo de avaliação) foi determinada a massa de forragem total (MFT) da gramínea, totalizando 12 períodos de avaliações, utilizando-se o método de dupla amostragem (Haydock e Shaw 1975).

Foram coletados dois pontos de máxima, dois intermediários e dois de mínima para estimar a massa de forragem, totalizando seis pontos por parcela. O corte das plantas foram feitos a 5 cm do solo, delimitadas por um quadrado de 1 m<sup>2</sup>. A altura da pastagem nesses pontos foi estimado considerando a média das alturas das touceiras, com o auxílio de uma fita métrica.

Foram realizadas 30 medidas indiretas em cada parcela, por meio da altura e notas visuais, sendo essas medidas correlacionadas com a massa de forragem estimada (Pedreira 2002). Assim foi possível a obtenção de equações de regressão para cada parcela, associando a massa de forragem com a média das medidas obtidas com a nota (média de 30 pontos por parcela) devido aos maiores valores de R<sup>2</sup>. A densidade da forragem foi estimada por meia da massa de forragem total e da altura média do pasto.

### **2.3 Análise da Composição Química do Massai**

As amostras coletadas foram pesadas (peso fresco total), e em seguida, separadas em forragem verde e senescente, a fim de obter o peso de cada fração separadamente, em seguida foram submetidas à pré - secagem, em estufa de ventilação forçada, a 55 °C, até o peso constante. As amostras retiradas da estufa foram pesadas novamente (peso seco) e moídas em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm para analisar a composição química determinando os conteúdos de Material Mineral (MM) e Proteína bruta (PB) descrita por Detman et al. (2012).

## 2.4 Desempenho Animal

As avaliações de desempenho foram feitas em junho, julho, agosto de 2020 e fevereiro, março, abril, maio de 2021. A taxa de lotação (TL) foi calculada em unidade animal (UA) por hectare, com base no peso metabólico (peso corporal  $\times$  0,75). O ganho médio diário (GMD, kg PC dia<sup>-1</sup>) foi calculado pela diferença entre o peso final e o peso inicial dos animais “testers”, dividido pelo número de dias de pastejo. Os animais foram submetidos a jejum de sólidos e líquidos de aproximadamente 12 horas previo a cada avaliação. O ganho de peso corporal por área (GPA, kg PC ha<sup>-1</sup>) foi obtido pelo produto do GMD  $\times$  TL  $\times$  dias de pastejo (Del Claro et al. 2012).

## 2.5 Análises Estatísticas

Foram realizadas análises de variância, utilizando o procedimento Proc Mixed do SAS (SAS® OnDemand for Academics). Quando houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ), utilizou-se o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foram considerados como fatores fixos os níveis de adubação e os períodos de avaliação (como procedimento de medidas repetidas), e como fator aleatório, o bloco.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

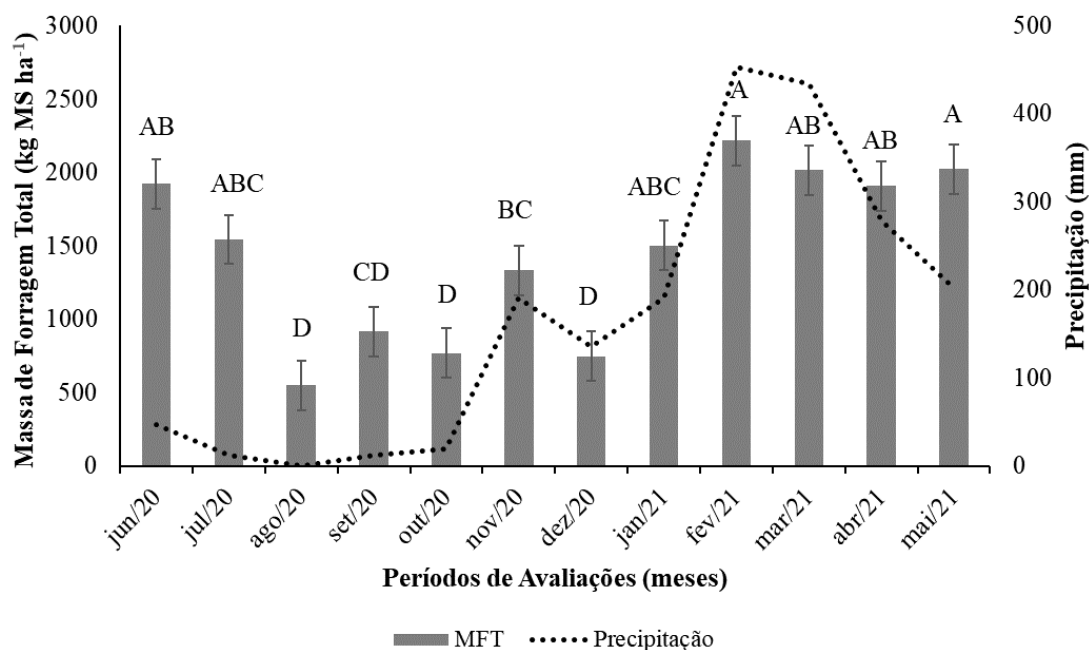
## 3.1 Produtividade do Massai

A MFT ( $P = 0,9727$ ), proporção de forragem verde (%FV) ( $P = 0,3409$ ), senescente (%FS) ( $P = 0,3415$ ) e densidade ( $P = 0,3525$ ) não diferiram estatisticamente entre os níveis de adubação, com média de  $1455 \pm 23,57$  kg ha<sup>-1</sup>;  $66 \pm 1,17$ ;  $34 \pm 1,17\%$ ;  $42 \pm 2,08$  kg MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-3</sup>, nessa ordem. Possivelmente a escassez de água, no período seco (Figura 1; Capítulo 2), dificultou o restabelecimento do dossel e maior produção, mesmo em altos níveis de adubação. Além disso, a perda de N é intensificada quando é aplicada em solos arenosos e de textura média (Tabela 2, Capítulo 2), e em condições de alta umidade, como o do presente estudo (Figura 1; Capítulo 2) (Oliveira et al. 2010).

Moura et al. (2013), relataram ainda que nas regiões do trópico úmido, onde predominam altas temperaturas e umidade, as perdas de N também está presente no período de maior precipitação pluvial, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica, contribuindo com uma baixa eficiência e sem diferença significativa entre os tratamentos. Logo, o manejo do solo, as condições edafoclimáticas, fontes e formas de aplicação são pontos chaves para eficiência da adubação nitrogenada. Além disso, o tratamento que não recebeu adubação, não sofreu com diminuição/inibição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela leguminosa com 77% do nitrogênio derivado da atmosfera (Tabela 8, Capítulo 2), esse resultado também pode ter contribuído para não existir diferença significativa entre os tratamentos.

Bezerra-Neto (2019) avaliando diferentes níveis de adubação no capim massai, observou que o maior incremento na produção de biomassa de forragem ocorreu com a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, a partir daí o incremento na produção de forragem foi menor a cada dose utilizada. Compreender a produção de forragem com os níveis de adubação de nitrogênio é importante para traçar recomendações de adubações de plantas forrageiras, evitando desperdício e prejuízos ao ambiente, uma vez que o N que não é absorvido pelas plantas pode ser volatilizado ou lixiviado, essas perdas tornam - se cada vez maiores com o aumento dos níveis adubações (Costa et al. 2016).

Houve efeito de ciclo ( $P < 0,05$ ) para massa total de forragem (Figura 1). Os valores apresentaram variações diretamente proporcional a pluviosidade e umidade do solo (Figura 1; Capítulo 2), o que conseqüentemente interferiram maior MFT do massai. A maior massa apresentada foi nos mês de fevereiro (2216 kg ha<sup>-1</sup>) e maio (2024 kg ha<sup>-1</sup>) de 2021. Os resultados de junho e julho/2020 são reflexo do início do experimento, de um longo período de descanso, primeiros meses de avaliações, antes do primeiro pastejo, e os demais meses foram influenciados pelo volume de chuvas ao decorrer dos períodos de avaliação. Além das variações de temperatura e fotoperíodo, a estacionalidade das chuvas, característica das regiões tropicais, não permite a produção uniforme de forragem durante o ano, segundo Euclides et al. (2008).



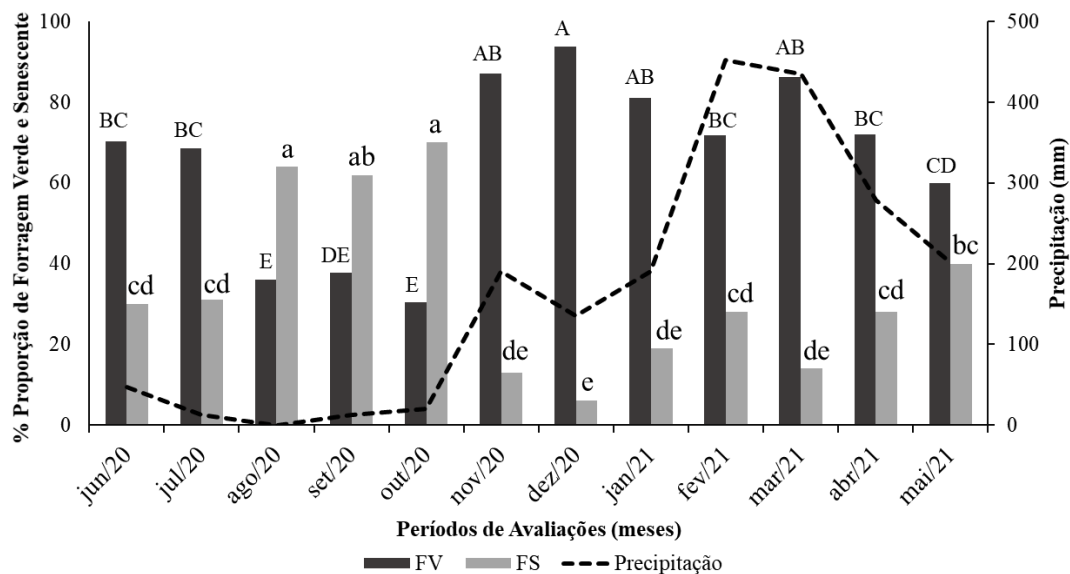
**Figura 1** - Massa de forragem total do *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai sob diferentes períodos de avaliação em sistema agrossilvipastoril. Letras diferentes e maiúsculas indicam diferença significativa entre os períodos de avaliação ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O aumento da MFT no início da época chuvosa e a redução nos meses de baixa precipitação, geralmente designam flutuação da massa ao longo do ano, caracterizando forte estacionalidade na produção forrageira (Paciullo et al. 2009). Segundo Reis et al. (2017) a produção e a composição química das forrageiras são afetadas pelos processos metabólicos das plantas em resposta à natureza dos recursos edafoclimáticos disponíveis, isso justifica o resultados do presente trabalho, em que a MFT apresentou acentuada estacionalidade, com a produção no período seco decrescendo em relação ao chuvoso, onde há um maior balanço hídrico no solo (Figura 1; Capítulo 2), ao longo dos meses do ano.

A menor MFT foi encontrada nos meses de agosto ( $552 \text{ kg ha}^{-1}$ ), outubro ( $769 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e dezembro ( $748 \text{ kg ha}^{-1}$ ) de 2020. O estresse hídrico é um efeito prejudicial sobre as plantas forrageiras, e é manifestado pela redução no peso da massa seca e pelo retardamento do alongamento foliar (Pereira et al. 2011). Os mesmos autores ressaltaram que independentemente da adubação nitrogenada e da densidade de cultivo as plantas paralisam seu desenvolvimento durante período seca do ano.

Houve efeito de ciclo ( $P < 0,05$ ) na proporção de forragem verde e senescentes (Figura 2), com média superior na forragem verde no mês de dezembro/2020 em relação aos outros períodos de avaliação. No período de chuva a %FV foi maior, pois o fluxo de renovação de

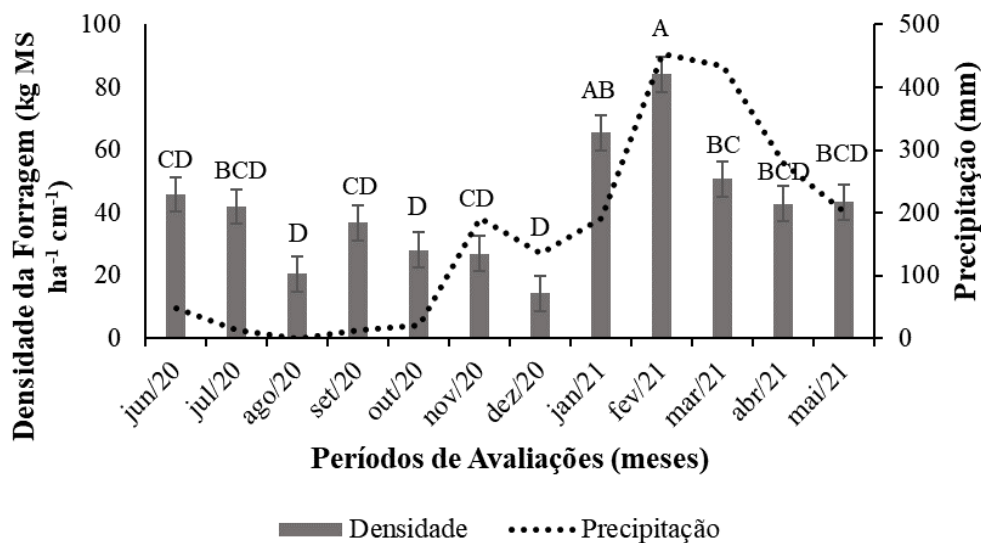
tecidos é aumentado, e novas folhas surgem com maior rapidez. Entretanto, a forragem senescente foi superior nos meses de agosto e outubro/2020 com 64 e 70%, respectivamente.



**Figura 2** - Porcentagem de forragem verde (FV) e senescente (FS) de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras diferentes, minúsculas para FS e maiúsculas para FV, indicam diferenças significativas entre os períodos de avaliações ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Quando a oferta de forragem verde é limitante, o animal passa a ingerir folha seca e colmo, reduzindo a qualidade da dieta ingerida (Delevatti et al. 2019). O material senescente compromete a estrutura do dossel forrageiro, conseqüentemente o comportamento e desempenho animal, pois o acúmulo desse material causa sombreamento na base do dossel inibindo a emissão de novos perfilhos, além do consumo ser reduzido pelos animais devido ao baixo valor nutritivo presente nessa fração (Pompeu et al. 2009).

A densidade de forragem foi significativa nos períodos de avaliação ( $P < 0,05$ ), os maiores valores encontrados ocorreram na mesma avaliação que foi observado a maior MFT (Figura 1), com pico em fevereiro/2021, variando de 14 kg de MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> em dezembro/2020 a 84 a kg de MS ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> em fevereiro/2021 (Figura 3). Durante todo período experimental, os maiores valores foram obtidos na época chuvosa. Segundo Emerenciano Neto et al. (2017) existe alta correlação entre altura e massa de forragem, porém o capim massai apresenta uma alta densidade, o que pode explicar o maior valor de massa seca de forragem em fevereiro/2021.



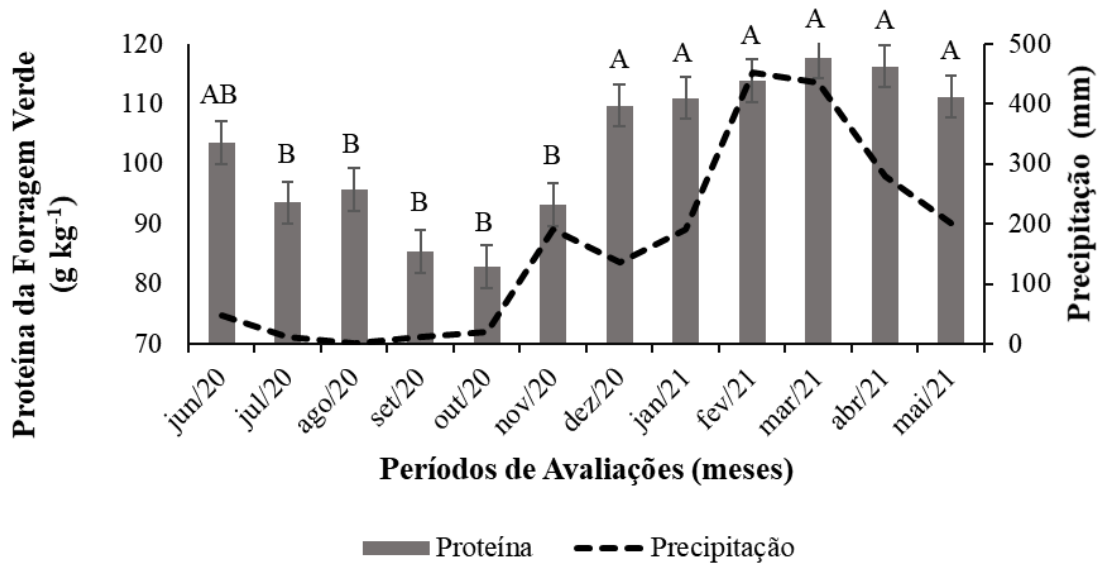
**Figura 3** - Densidade de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

### 3.2 Composição Química do Massai

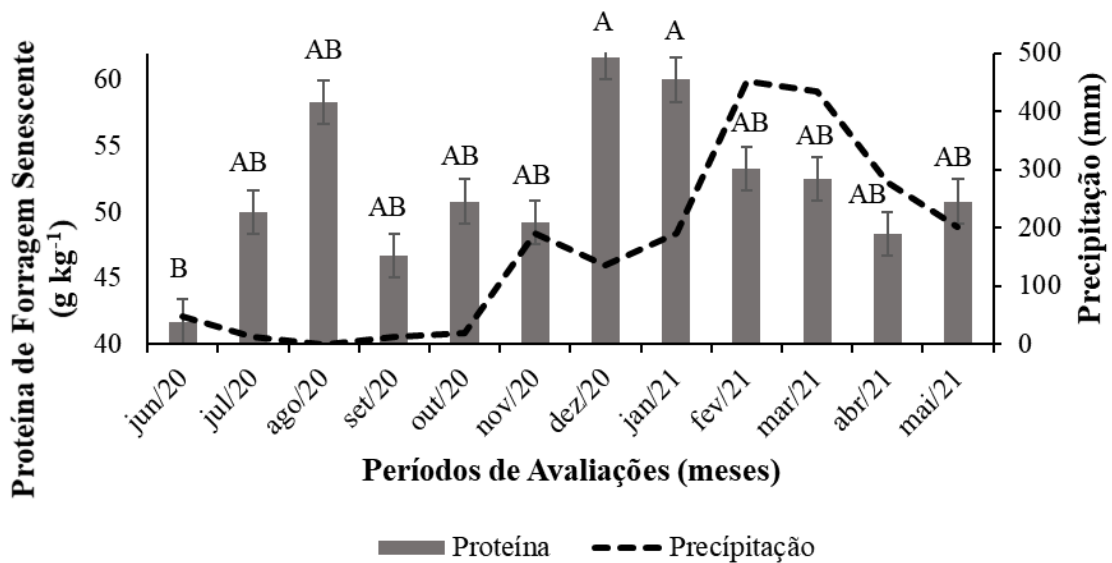
Não houve diferença significativa entre os níveis de adubação para proteína bruta da forragem verde (PBFV) ( $P = 0,1134$ ), proteína bruta da forragem senescente (PBFS) ( $P = 0,4159$ ), matéria mineral da forragem verde (MMFV) ( $P = 0,3502$ ) e matéria mineral da forragem senescente (MMFS) ( $P = 0,7253$ ), com média de  $102 \pm 3,59$ ;  $52 \pm 1,63$ ;  $116 \pm 2,65$ ;  $107 \pm 1,91$  g kg<sup>-1</sup>. A sabiá fixa biologicamente N no solo e o disponibiliza para a absorção do capim, contribuindo com ausência de diferença entre os tratamentos que receberam adubação, do controle. Folhas de leguminosas apresentam maior concentração de N, como a sabiá no período chuvoso de 26 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 6; Capítulo 2), o que leva a maiores taxas de decomposição da serapilheira, aumentando o N disponível para a absorção do capim (Apolinário et al. 2016). Outro fator que pode ter contribuído para não existir diferença entre os tratamentos foi a fonte de N utilizada (ureia). De acordo com Costa et al. (2010), as perdas de N por volatilização, na forma de ureia podem atingir até 80% do nitrogênio aplicado, comprometendo a produtividade da planta forrageira.

Observa-se que em todos os níveis de adubação o capim massai atende satisfatoriamente aos requerimentos proteicos mínimos para possibilitar a atuação das bactérias fribrolíticas no rúmen, que segundo Van Soest (1994) deve ser de 70 a 80 g kg<sup>-1</sup> de PB na MS. Valores abaixo do limite mínimo pode comprometer a degradabilidade da fibra e consequentemente o aproveitamento do material para o desempenho animal (Lazzarini et al. 2009).

Nos períodos de avaliação a PBFV e PBFS diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ), com médias superior para PBFV entre dezembro e maio/2021 (103-118 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 4), entretanto médias superiores para PBFS foram observadas nos meses de dezembro/2020 e janeiro/2021 (Figura 5).



**Figura 4** - Proteína bruta de forragem verde de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.



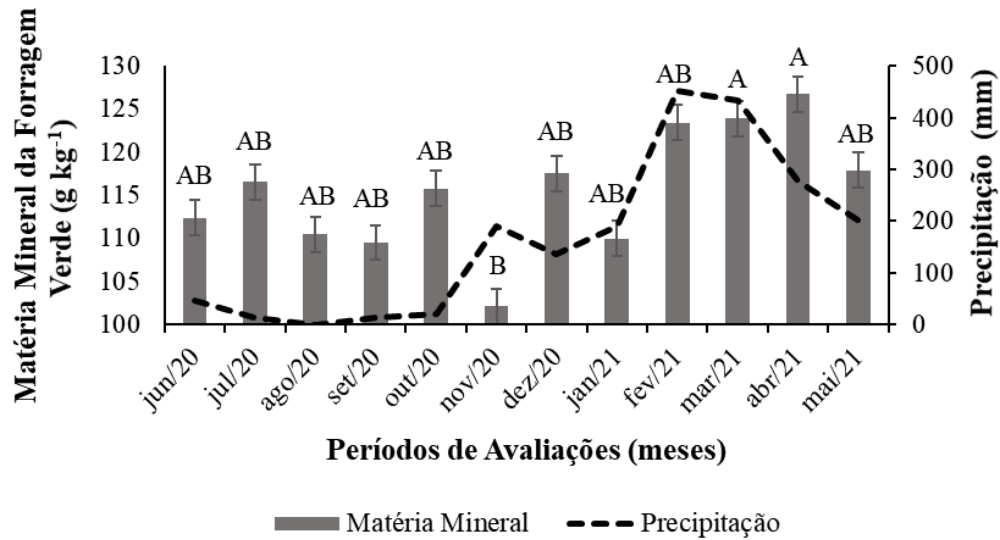
**Figura 5** - Proteína bruta de forragem senescente de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O acúmulo de precipitação pluviométrica e as baixas temperaturas (mínima 23 °C) podem justificar o maior conteúdo de PB durante este período (Figura 1; Capítulo 2) uma vez que a disponibilidade de água, é uma das condições para aumentar a mineralização e a utilização eficiente de N. Embora o mês de dezembro a precipitação ter sido baixa, a concentração de PB é explicada pela maior proporção de forragem verde nesse mês (Figura 2). Araújo et al. (2013) relataram que as baixas temperaturas podem fazer com que perfilhos remanescentes morram e, a partir daí, iniciar o aparecimento e crescimento de novos perfilhos, com maior concentração de PB. Machado et al. (2008) destacam a disponibilidade de água no solo como um fator determinante na composição química da planta forrageira, favorecendo a um processo de morfogênese mais intenso, dando origem a tecidos novos, tendo estes um melhor valor nutritivo e, conseqüentemente, melhor aproveitamento pelos animais.

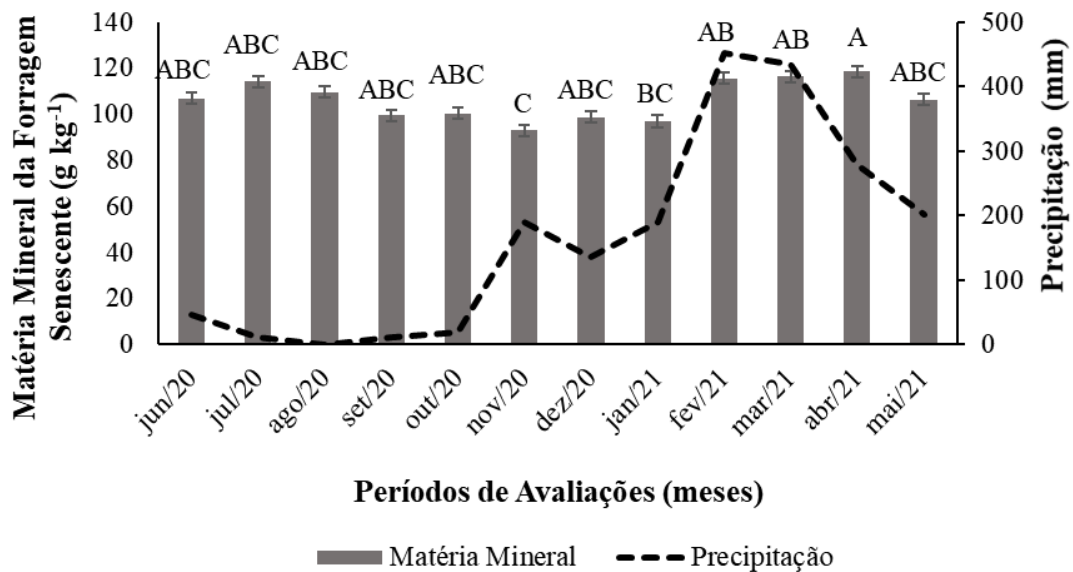
As baixas temperaturas podem fazer com que perfilhos remanescentes morram e, a partir daí, iniciar o aparecimento e crescimento de novos perfilhos, fundamentando maior concentração de PB (Araújo et al. 2013), e conseqüentemente contribuir para melhor desempenho animal. Ainda, durante períodos secos, a quantidade de água na superfície do solo é baixa, o que dificulta a obtenção de nutrientes pelas raízes das plantas forrageiras (Lana et al. 2016).



Houve efeito ( $P < 0,05$ ) para MMFV e MMFS entre os períodos de avaliação. A MMFV diferiu apenas no mês de março e abril/2020 com 124 e 127 g kg<sup>-1</sup> (Figura 6), e a MMFS foi menor nos meses de nov/2020 e jan/2021 (Figura 7), ambos nos meses de maior precipitação pluviométrica .



**Figura 6** - Matéria mineral forragem verde de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.



**Figura 7** - Matéria mineral forragem senescente de *Megathyrus maximus* Jacq. cv. Massai em sistema agrossilvipastoril em diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

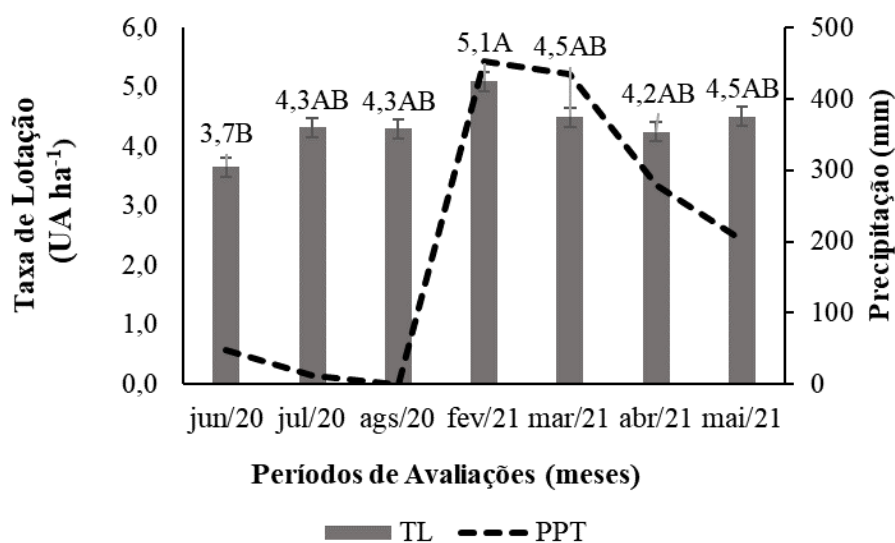
A matéria mineral são resíduos inorgânicos que permanecem após o processo de incineração ou a queima da matéria orgânica, sendo assim, é a quantidade total de minerais presentes na amostra. A concentração de N proporcionaram acréscimo no teor de matéria

mineral, isso deve-se ao maior comprimento final da lâmina foliar e maior produção de forragem (Cosmo e Galeriani 2017).

### 3.3 Desempenho Animal

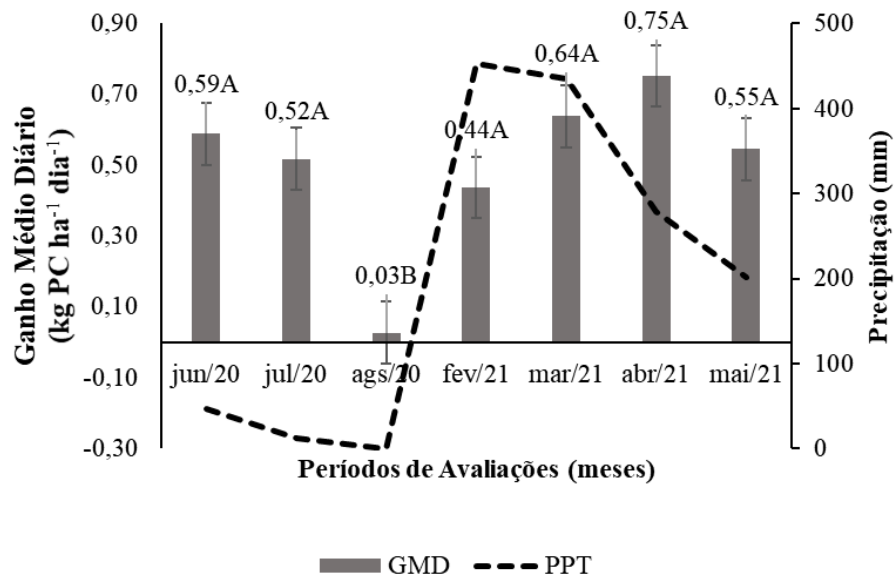
Não houve diferença significativa entre os níveis de adubação para TL ( $P = 0,6239$ ), GMD ( $P = 0,9704$ ) e GPA ( $P = 0,9367$ ), com média de 4,3; 0,50 e 2,1, nessa ordem. O ganho individual dos animais em pastejo é influenciado pela quantidade e composição química da dieta oferecida. A forragem verde das plantas forrageiras obtiveram maiores concentrações de PB (Figura 4), e foram preferencialmente selecionadas pelos animais em pastejo (Brâncio et al. 2003). No presente estudo não houve diferença entre níveis de adubação para estas variáveis. Dessa forma, acredita-se que o valor de PB do capim massai possa ter contribuído pelos resultados observados no desempenho dos animais em pastejo.

A TL variou de 3,7 UA ha<sup>-1</sup> em junho/2020 a 5,1 UA ha<sup>-1</sup> em fevereiro/2021 (Figura 8), que coincide com os meses de menor e maior precipitação, respectivamente, durante o período experimental (Figura 1; Capítulo 2). A TL foi ajustada conforme a oferta de forragem, como a maior proporção de forragem foi produzida no período das águas (Figura 1), o pasto suportou maior TL neste período, reduzindo durante o período seco. Os valores de TL encontrados na pesquisa foram superiores à taxa média nacional de lotação no Brasil, que é de 1,3 UA ha<sup>-1</sup> (Cardoso et al. 2016). Euclides et al. (2008) ao compararem duas cultivares de *Megathyrus maximus* Jacq. (Mombaça e Massai), em cultivo solteiro verificaram maior taxa de lotação (2,2 UA ha<sup>-1</sup>) na cultivar massai comparada a mombaça (1,9 UA ha<sup>-1</sup>). Esses resultados destacam que o massai é uma forrageira promissora para diversificação de gramíneas forrageiras na pecuária de corte.

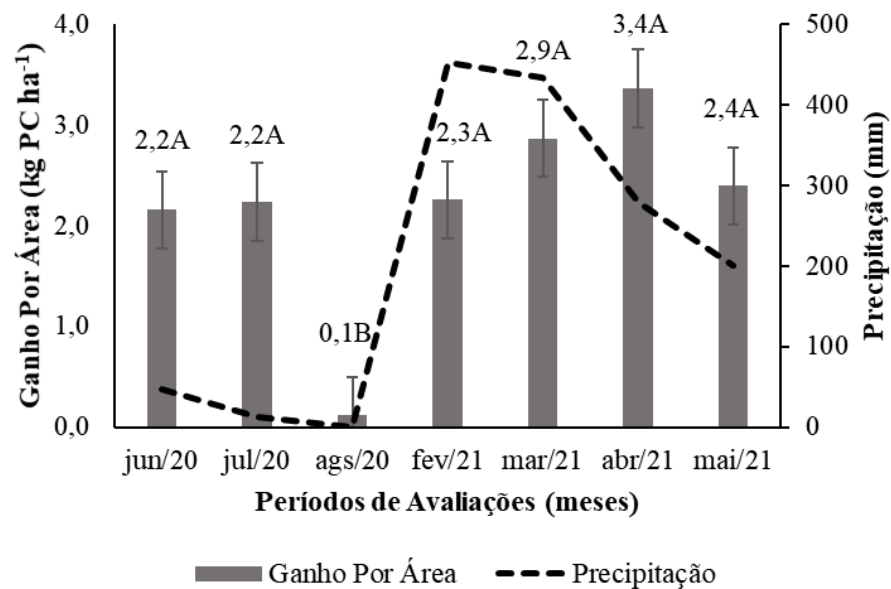


**Figura 8** - Taxa de Lotação em sistema agrossilvipastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O GMD (Figura 9) e GPA (Figura 10) foram maiores nos períodos com maior precipitação pluviométrica junho e julho/2020 e fevereiro, março, abril e maio/2021. É comum ocorrer perda de peso de bovinos em pastejo sem suplementação, durante a época seca (Dubeux Júnior et al. 1997), como aconteceu em agosto/2020, mês em que a MFT atingiu a menor média  $552 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 1), e os animais começaram a perder peso, e por esse motivo foi preciso retirar os animais do experimento, mas essa perda foi compensada com o início do período chuvoso, em fevereiro/2020. Barbosa et al. (2007) destacam ainda que os animais mantidos em regime de pastejo exclusivo na época seca do ano, estão sujeitos à perda excessiva de peso, devido a redução do valor nutritivo da forragem.



**Figura 9** - Ganho médio diário em sistema agrossilvopastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.



**Figura 10** - Ganho por área em sistema agrossilvopastoril sob diferentes períodos de avaliação. Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $P < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

O menor ganho de peso durante o período seco (agosto/2020) foi consequência das altas proporções de material senescente no período seco (Figura 2) que podem limitar o consumo, além as da baixa concentração de PBFV ( $96 \text{ g kg}^{-1}$ ) no pasto (Figura 4). Silva et al. (2020) trabalhando com sistemas em monocultivo e integrados, atribuíram maiores GMD à maior proporção de folhas e menor proporção de material senescente durante a estação chuvosa para todos os sistemas, corroborando com os achados desta pesquisa.

No período chuvoso, a maior MFT (Figura 1) e PBFV (Figura 4) é possível aumentar a média nacional da TL e o GMD ( $0,27 \text{ kg PC dia}^{-1}$ ) a pasto (Cardoso et al. 2016). Machado et al. (2008) relataram que o GMD está relacionado não só à quantidade e composição química da forragem, mas também à oportunidade de fazer a seleção do alimento. O GPA é o resultado do quociente entre a TL e o GMD, portanto, o GPA aumenta à medida que ocorre aumento nessas variáveis. Feitosa (2017) avaliando o GPA de bovinos de corte em pasto de *Urochloa brizantha* Stapf. cvs e Xaraés e Massai, constatou que os animais do tratamento massai foram os que menos perderam pesos no final de seca ( $- 0,84 @ \text{ ha}^{-1}$ ).

Emerenciano Neto et al. (2013), estudando as características estruturais do dossel e acúmulo de forragem de gramíneas tropicais (*Megathyrsus maximus* Jacq cvs. Aruana e Massai e *Urochloa brizantha* Stapf cvs. Marandu e Piatã), concluíram que o massai durante a estação das águas é mais favorável ao animal em pastejo que as demais forrageiras analisadas, devido maior massa de lâminas foliares. Além disso, Santos et al. (2020) destacam que sistemas integrados com árvores podem melhorar a qualidade do pasto e o sombreamento aumenta as condições de conforto térmico ao animal. Estes fatores são determinantes para aumentar o consumo de matéria e seca e conseqüentemente o desempenho animal.

#### **4 CONCLUSÕES**

A adubação nitrogenada não aumentou a produção e composição química do capim massai e o desempenho animal, em sistemas agrossilvipastoril com leguminosa arborea. Possivelmente a sabiá contribuiu com a entrada de N<sub>2</sub> no solo, disponibilizando para a absorção do massai, o que proporcionou concentrações de PB no pasto, que não recebeu adubação.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, R. P.; Carvalho, A. J. C.; Deminicis, B. B.; Carmo, A. S. A.; Ribeiro, E. T.; Amorim, M. M.; Rodrigues, R. P. Sistema silvipastoril como alternativa de uso da terra. PUBVET, v. 5, p. 1245, 2011.
- Barbosa, R.A.; Nascimento Júnior, D.; Euclides, V.B.P. Silva, S.C.; Zimmer, A.H.; Torres Júnior, R.A.A. (2007). Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.3, p.329-340. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000300005>
- Bezerra Neto, J. A. (2019). Morfofisiologia do capim massai submetido a doses de nitrogênio.
- Brâncio, P. A.; Euclides, V. P. B.; Nascimento Júnior, D. D.; Fonseca, D. M. D.; Almeida, R. G. D.; Macedo, M. C. M.; Barbosa, R. A. (2003). Evaluation of three varieties of *Panicum maximum* Jacq. under grazing: cattle ingestive behaviour. Revista Brasileira de Zootecnia, 32(5), 1045-1053.
- Bustamante, M.M.; Nobre, C.A.; Smeraldi, R.; Aguiar, A.P.; Barioni, L.G.; Ferreira, L.G.; Longo K.; May, P.; Pinto, A.; Ometto, J.P. (2012). Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. Climatic Change, v. 115, n. 3-4, p. 559-577, 2012.
- Cairo, P. A . R. Curso básico das relações hídricas de plantas. Jaboticabal: FUNEP. 1995. 42p.
- Campos, P. R. S. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Cecon, P. R.; Leão, M. I.; Lucchi, B. B.; Souza, S. M.; Pereira, O. G. (2010). Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. Revista Ceres, v. 57, n.1, p. 079-086. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000100014>
- Cardoso A. S.; Berndt, A.; Leytem, A.; Alves, B.; Carvalho, I. D. N.; Barros, Soares, L. H.; Boddey, R. M. (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. Agricul Syst 143:86-96.
- Cosmo, B. M. N.; Galeriani, T. M. (2017). Determinação de matéria seca em amostras de beterraba, capim elefante e farinha de peixe. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, v. 1, n. 113, 2017.
- Costa, K.A.P.; Faquim, V.; Oliveira, I.P. (2010). Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. Arq Bras Med Vet Zootec 62 ( 1):192-199.
- Costa, N.L.; Paulino, V.T.; Magalhães, J.A.; Rodrigues, B.H.N.; Santos, F.J.S. (2016). Eficiência do nitrogênio, produção de forragem e morfogênese do capim-Massai sob adubação. Nucleus. v.13, n.2.
- Del Claro, A.C.; Mercadante, M.E.Z.; Silva, J.A.V. (2012). Meta-análise de parâmetros genéticos relacionados ao consumo alimentar residual e a suas características componentes em bovinos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.2, p.302-310. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200020>



Delevatti, L. M.; Cardoso, A. S.; Barbero, R. P.; Leite, R. G.; Romanzini, E. P.; Ruggieri, A. C.; Reis, R. A. (2019). Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports*. v.9, p.7596.

Detmann, E.; Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.; Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Pina, D. S.; Ladeira, M. M.; Azevêdo, J. A. G. (2012). Métodos para análise de alimentos – INCT – Ciência Animal. 1ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p.

Difante, G. S.; Euclides, V. P. B.; Nascimento Júnior, D.; Silva, S. C.; Dias Filho, M. B. (2010) Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belém, PA.

Dubeux Júnior, J.C.B.; Lira, M.A.; Freitas, E.V. (1997). Avaliação de pastagens de braquiárias na Zona da Mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.26, p.659- 666.

Emerenciano Neto, J. V.; Difante, G. S.; Lana, A. M. Q.; Medeiros, H. R.; Aguiar, E. M.; Montagner, D. B.; Souza, J. S. (2018) Forage quality and performance of sheep in Massai grass pastures manage dat pre-grazing canopy heights. *South African J Ani Sci* 48(6):1073-1081. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i6.10>

Emerenciano Neto, J.V.; Difante, G.S.; Lana, A.M.Q.; Campos, N.R.F.; Veras, E.L. L.; Moraes, J.D. (2017). Sward structure and herbage accumulation of massai guinea grass pastures managed according to pre-grazing heights, in the northeast of Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v.9, p.155-163. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v9n4p155>

Emerenciano Neto, J.V.; Difante, G.S.; Montagner, D.B.; Bezerra, M.G.S.; Galvão, R.C.P.; Vasconcelos, R.I.G. (2013). Características estruturais do dossel e acúmulo de forragem em gramíneas tropicais, sob lotação intermitente e pastejada por ovinos. *Bioscience*, Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 962-973.

Emericiano, Neto, J.V.; Pereira, G.F.; Difante, G.S.; Oliveira, L.G.; Lima, A.R.; Santos, W.R W.; Gurgel, M.F. (2016). Produção e estrutura de pastos de capim-massai adubado com dejetos da produção animal. *Boletim da Indústria Animal*. v.73, n.2, p.111-117. DOI: <http://dx.doi.org/10.17523/bia.v73n2p111>

Euclides, V. P. B.; Macedo, M. C. M.; Zimmer, A. H.; Jank, L.; Oliveira, M. P. D. (2008). Avaliação dos capins mombaça e massai sob pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 18-26. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000100003>

Haydock, K.P.; Shaw, N.H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15:663-670. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA9750667>

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). (2019). Censo Agropecuário: resultados definitivos. Rio de Janeiro, v.8, p.1-105.

Lana, R. M. Q.; Lana, Â. M. Q.; Reis, G. L.; Lemes, E. M. Productivity and nutritive value of brachiaria forage intercropping with eucalyptus in a Silvopastoral system in the Brazilian Cerrado biome. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, n. 5, p. 654–659, 2016.

Lapig. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (UFG) em parceria com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE). (2021). Situação da qualidade das Pastagens no Brasil. Atlas Digital das Pastagens Brasileira.

Lazzarini, I.; Detmann, E.; Sampaio, C.B.; Paulino, M.F.; Valadares Filho, S.C.; Souza, M.A.; Oliveira, F.A. (2009). Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.61, p.635-647. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000300017>

Lemos, B. J. M.; Souza, F. M.; Oliveira, A. P.; Menezes, R. G.; Silva, R. M. (2012) Terminação de bovinos a pasto. *Pubvet, Londrina*, v. 6, p. Art. 1455-1459, 2012.

Machado, L.A.Z.; Fabrício, A.C.; Gomes, A.; Assis, P.G.G.; Lempp, B.; Maraschin, G.E. (2008). Desempenho de animais alimentados com lâminas foliares, em pastagem de capim-marandu. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1609-1616. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2008001100021>

Martuscello, J. M; Silva, Cunha, L. P; D. N. F. V; Batista, A. C. S; Braz, T. G. S. B; Ferreira, P. S. (2015). Adubação nitrogenada em capim-massai: morfogênese e produção. *Ciência Animal Brasileira*. v.16, n.1, p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1590/1089-68916i118730>

Oliveira, A.P.; Oliveira, F. J. V.; Silva, J.A.; Oliveira, A.N.P.; Santos, R. R.; Silva, D.F. Parcelamento e fontes de nitrogênio para produção de maxixe. *Hortic. Bras.* 28 (2). 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000200014>

Oliveira, J. De M.; Madari, B. E.; Carvalho, M. T. De M.; Assis, P. C. R.; Silveira, A. L. R.; Lima, M. De L.; Wruck, F. J.; Medeiros, J. C.; Machado, P. L. O. De A. (2018). Integrated farming systems for improving soil carbon balance in the southern Amazon of Brazil. *Regional Environmental Change*, v.18, n.1, p.105-116. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10113-017-1146-0>.

Oliveira, V. S.; Morais, J. A. S; Rangel, J. H. A.; Neto, J. A. S.; Santos, A. C. P.; Valença, R. L.; Fagundes, J. L. (2016). Disponibilidade de forragem, resíduos pós-pastejo e comportamento ingestivo de bovinos de corte em sistema silvipastoril. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.12, n.2, p. 223-232.

Paciullo, D. S. C.; Lopes, F. C. F.; Malaquias Junior, J. D.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N. M.; Morenz, M. J. F.; Aroeira, L. J. M. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 11, p. 1528–1535, 2009.

Pedreira, C.G.S (2002). Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. IN Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. Recife, 2002. Anais... Recife, SBZ.

Pereira, V.V.; Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A.; Braz, T.G.S.; Santos, M.V.; Cecon, P.R. (2011). Características morfológicas e estruturais de capim mombaça em três densidades de cultivo adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.2681-2689. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200010>

Pompeu, R. C. F. F.; Cândido, M. J. D.; Neiva, J. N. M.; Rogério, M. C. P.; Benevides, Y. I.; Oliveira, B. C. M. (2009). Fluxo de biomassa em capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação concentrada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:809-817. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000500005>

Reis, M. M.; Santos, L. D. T.; Oliveira, F. G.; & Santos, M. V. (2017). Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. *Revista Unimontes Científica*, 19(1), 178-190.

Salton, J. C.; Mercante, F. M.; Tomazia, L.; Zanatta, J. A.; Concenço, G.; Silva, W.M.; Retore M (2014) Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable productionsystem. *Agric Ecosyst Environ* 190:70–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

Santos, A. M. G.; Júnior, J. C. B. D.; dos Santos, M. V. F.; de Andrade Lira, M.; de Oliveira Apolinário, V. X.; de Miranda Costa, S. B.; ... & da Silva Santos, E. R. (2020). Animal performance in grass monoculture or silvopastures using tree legumes. *Agroforestry Systems*, 94(2), 615-626.

Silva, F. S.; Domiciano, L. F.; Gomes, F. J.; Sollenberger, L. E.; Pedreira, C. G.; Pereira, D. H.; Pedreira, B. C. Herbage accumulation, nutritive value and beef cattle production on marandu palisadegrass pastures in integrated systems. *Agroforestry Systems*, v. 94, n. 5, p. 1891–1902, 2020.

Teixeira, FA, Bonomo, P.; Pires, A. J. .; Silva, F. F.; Fries , D. D.; Hora, D. S. (2011) Produção anual e qualidade de pastagem de *Brachiaria decumbens* diferida e estratégias de adubação nitrogenada. *Acta Scient Anim Sci* 33(3):241-248.

Terra, A. B. C; Florentino, Ligiane, A. F; Rezende, A. V; Silva, N. C. D. (2019) Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*. v. 42, n.2, p. 309-310. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16016>

Valadares Filho, S. C.; Machado, P. A. S.; Chizzotti, M. L. CQBAL 3.0. (2017).

Valle Júnior, R. F.; Siqueira, H. E.; Valera, C. A.; Oliveira, C. F.; Fernandes, L. F. S.; Moura, J. P.; Pacheco, A. L. (2019). Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: an application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 14, p. 20-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.01>

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed.; London: Constock Publishing Associates. 476p.

## CONCLUSÕES GERAIS

A adubação nitrogenada não contribuiu com o aumento da produção e composição química do massai e sabiá, em sistema agrossilvipastoril, e reduziu a fixação biológica da sabiá, nas condições do trópico úmido maranhense. Apesar do N ser o nutriente que mais contribui para o desenvolvimento, o crescimento das árvores é gradativo. Mesmo em sistema com altos níveis de adubação, em períodos de déficit hídrico se faz necessário planejamento forrageiro, pois a quantidade e qualidade da forragem é reduzida, não suportando altas taxas de lotação.

Os sistemas agrossilvipastoris, a longo prazo, tem potencial para gerar bens e serviços ecossistêmicos e diversificar a renda do produtor por meio da comercialização de produtos. A produção de madeira é um benefício econômico interessante, pois a demanda de estacas e lenha na região é elevada, sendo a madeira da sabiá uma das mais requisitadas pelos produtores para estes fins.

O sistema estudado é uma alternativa que minimiza os impactos na produção animal, as contribuições vão mais além do que uma fonte de N para diminuição de fertilizantes nitrogenados. Os serviços ambientais prestados como armazenamento de C na madeira por longos períodos, preservação da biodiversidade, além da exploração do uso da madeira para diversos fins são características fundamentais a serem exploradas.