

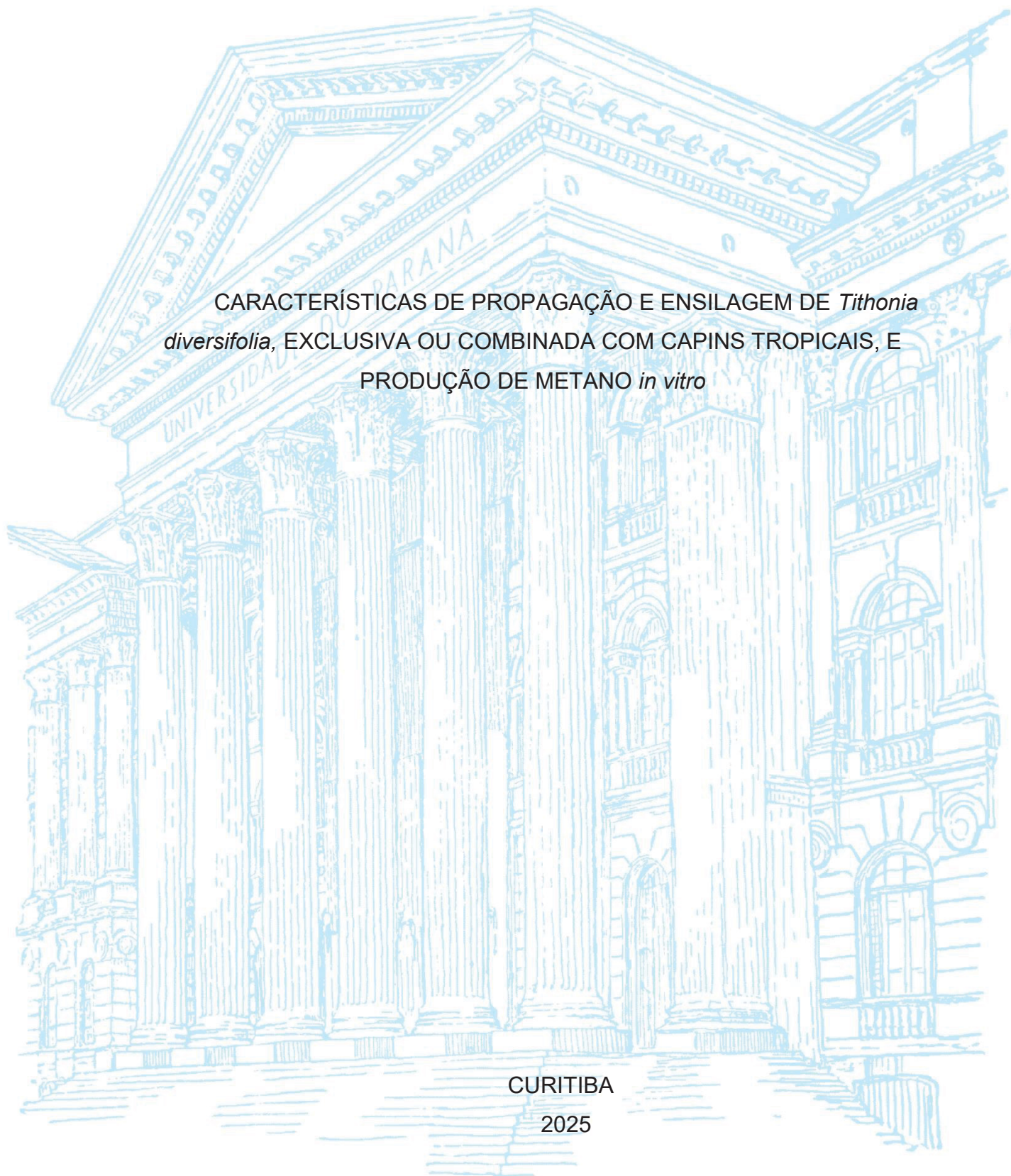
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

QUEILA GOUVEIA TAVARES

CARACTERÍSTICAS DE PROPAGAÇÃO E ENSILAGEM DE *Tithonia diversifolia*, EXCLUSIVA OU COMBINADA COM CAPINS TROPICAIS, E PRODUÇÃO DE METANO *in vitro*

CURITIBA

2025



QUEILA GOUVEIA TAVARES

CARACTERÍSTICAS DE PROPAGAÇÃO E ENSILAGEM DE *Tithonia diversifolia*, EXCLUSIVA OU COMBINADA COM CAPINS TROPICAIS, E PRODUÇÃO DE METANO *in vitro*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Maity Zopollatto

Coorientadora: Profa. Dra. Denise Volpi

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Tavares, Queila Gouveia

Características de propagação e ensilagem de *Tithonia diversifolia*, exclusiva ou combinada com capins tropicais, e produção de metano *in vitro* / Queila Gouveia Tavares. – Curitiba, 2025.

1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Maity Zopollatto

Coorientadora: Profa. Dra. Denise Volpi

1. Alimentação dos animais. 2. Plantas forrageiras. 3. Metano. 4. Silagem. I. Zopollatto, Maity. II. Volpi, Denise. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -  
40001016082P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de QUEILA GOUVEIA TAVARES, intitulada: **Características de propagação e enlaxagem de *Thitonia diversifolia*, exclusiva ou combinada com capins tropicais, e produção de metano *in vitro*, sob orientação da Profa. Dra. MAITY ZOPOLLATTO**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 13 de Agosto de 2025.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MAITY ZOPOLLATTO  
Data: 04/08/2025 17:01:56 -0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

**MAITY ZOPOLLATTO**  
Presidente da Banca Examinadora

*Sanin Ortiz G.*  
**SANIN ORTIZ GRISALES**

Avallador Externo (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLÔMBIA)

*Simone Gisele de Oliveira*

**SIMONE GISELE DE OLIVEIRA**  
Avallador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUIZ GUSTAVO NUSSIO  
Data: 05/08/2025 20:19:25 -0300  
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

**LUIZ GUSTAVO NUSSIO**  
Avallador Externo ( ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE  
QUEIROZ - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

Aos meus pais, Edinaldo e Valéria, que ensinaram pelo exemplo o valor do esforço e da honestidade. Cada linha desta tese carrega o suor de vocês.

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A parte mais difícil de toda esta tese foi escrever os agradecimentos — e não por falta de palavras, mas porque cada linha carrega lembranças, superações e pessoas que marcaram profundamente essa trajetória. Sim, algumas lágrimas caíram.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me sustentar e me guiar em todos os momentos, me dando forças nos dias difíceis e serenidade para continuar.

À minha família, meu porto seguro, pai, mãe e irmã pela base sólida, amor incondicional, paciência e apoio constante mesmo à distância, ao longo de toda minha formação. Esse título é de vocês.

Ao João Victor meu grande amor e companheiro de vida, obrigada por sempre me motivar a ser melhor e por ter insistido em fazer a inscrição do doutorado. Você faz parte dessa jornada.

A minha orientadora, Maity, pela confiança, dedicação, ensinamentos e amizade, durante todo o doutorado. Obrigada por acreditar no meu potencial, mesmo quando eu mesma duvidei. Sua orientação foi essencial para meu crescimento profissional e pessoal, saiba que a senhora é uma das minhas grandes inspirações.

A minha coorientadora Denise, obrigada por toda ajuda, correções, conselhos, amizade e por me motivar cada vez mais. Saiba que me espelho muito em você, você é incrível e merece conquistar tudo que almeja.

Aos membros do Comitê de Orientação, à Profa. Simone e ao Prof. Wellyngton pelas inestimáveis contribuições para a construção desta tese.

À sempre atenciosa Silvia, secretária da pós-graduação, que me acompanhou com paciência e gentileza em cada dúvida e aflição acadêmica, indo além das suas funções.

Aos professores da banca, agradeço a disponibilidade, pelas contribuições valiosas e por enriquecer este trabalho com olhares cuidadosos e sugestões construtivas.

Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas *campus* Barbacena pela infraestrutura para a condução do experimento. Em especial ao professor Wellyngton, por sempre ser tão solícito e me apoiar. Se cheguei até aqui, você e a Profa, Renata são os grandes responsáveis.

Aos alunos de iniciação científica do IF, pela ajuda no período experimental.

Ao Luizinho por toda ajuda com a condução do experimento e por sempre sanar minhas dúvidas. Você sempre será um grande amigo!

Ao CENA e ao professor Adibe pela realização das análises e por me receber tão bem no laboratório.

A Aline, minha querida amiga, por me ajudar na vida e nos experimentos, muito obrigada pelo apoio, mensagens diárias e sempre estar ao meu lado. E também à sua família por sempre me receberem da melhor forma em Barbacena nos períodos experimentais.

A Karise, Maria e Juliana pelo companheirismo, ajuda e paciência. Obrigada por tudo meninas.

Ao Marcos por toda ajuda com as análises estatísticas e paciência para me ensinar.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFPR, por contribuírem para minha formação acadêmica e pelas trocas de conhecimento ao longo desses anos.

À Universidade Nacional da Colômbia *campus* Palmira e ao professor Sanín, pela acolhida durante meu período de doutorado sanduíche, me dando todo o suporte pessoal e profissional para a realização dos experimentos, não tenho palavras para agradecer por tanto. Foi uma experiência transformadora, que ampliou minha visão científica e pessoal.

As minhas grandes amigas que fiz em Palmira, Xime e Jenny amo muito vocês, obrigada por todo apoio durante os 10 meses e por toda ajuda no experimento. Sou grata por Deus ter colocado vocês em meu caminho, sinto muita falta de vocês.

Ao Alex, pela parceria nas avaliações a campo e no laboratório, sempre disposto a ajudar com atenção e bom humor. Obrigada por sempre me receber tão bem no laboratório de fisiologia.

À Agrosavia por toda a infraestrutura para a realização do experimento *in vitro*. Em especial agradeço a Dra. Olga e a Andreita sem vocês nada seria possível. Agradeço também aos queridos Léo, Carlos, Ronnal, Stellita, Deisy, Diana, Edgar e Lady, por toda ajuda e companheirismo enquanto estive em Bogotá.

A senhora Esperanza e sua família por me acolher tão bem em Bogotá e também a minha querida amiga Kelly pela companhia.

Aos colegas de laboratório, amigos de pesquisa, equipe de campo e todos que colaboraram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho, cada conversa, ajuda prática ou apoio emocional foi essencial para que esta etapa se concretizasse.

À CAPES, pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de estudos, inclusive para o período sanduiche no exterior, o que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus queridos velhos amigos Maria Juliete e Luis Augusto que sempre estiveram presentes, tirando dúvidas e me incentivando, por compreenderem minhas ausências e celebrarem comigo cada pequena vitória.

Por fim, agradeço a mim mesma, pela persistência nos momentos de dúvida, pelas renúncias necessárias e pela coragem de seguir até aqui.

A todos, que me ajudaram até aqui, meu mais sincero obrigada.

“Que eu nunca desisto de você, Meu filho  
E se for preciso  
Eu entro no meio da guerra só pra te ajudar  
Se apoie em meus ombros, não solta, nós vamos lutar” – Jessé Aguiar

## RESUMO

A *Tithonia diversifolia* é uma planta com elevado potencial forrageiro, notadamente por sua adaptabilidade, qualidade nutricional e presença de compostos bioativos, podendo ser utilizada como alternativa sustentável na produção animal. Esta tese foi composta por revisão bibliográfica e três experimentos que investigaram diferentes aspectos do uso da *T. diversifolia*. O primeiro estudo, conduzido na Universidade Nacional da Colômbia, campus Palmira, avaliou o efeito de bioestimulantes (água, extrato de babosa e enraizador comercial) e do tamanho de estacas (20, 30 e 40 cm) no enraizamento e desenvolvimento de mudas. Aos 30 dias após o plantio, o uso do enraizador comercial promoveu aumento no teor de clorofila (+31,16%). Aos 60 dias o enraizador comercial promoveu maior comprimento de raiz (+29,95%), enquanto aos 90 dias o número de ramos e MS da planta inteira foram maiores para o tratamento controle. Estacas maiores associadas ao uso de enraizador comercial proporcionaram maior crescimento radicular e da parte aérea, refletindo em mudas mais vigorosas. O segundo estudo, realizado no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Barbacena, teve como objetivo avaliar a composição químico-bromatológica, ácidos orgânicos, perdas fermentativas e estabilidade aeróbia de silagens de capim-elefante BRS Capiaçú (fresco e emurchecido), com inclusão de 10 ou 20% de *Tithonia*. A inclusão da planta promoveu aumento na matéria seca (até 17,51%), na proteína bruta (até 8,41%), e no teor de ácido acético (até 3,58%). O tratamento com capim emurchecido e 20% de *Tithonia* foi o mais eficiente, mantendo estabilidade por até 240 horas após a abertura dos silos. O terceiro estudo, realizado na Universidade Nacional da Colômbia, campus Palmira, em parceria com a Agrosavia, avaliou-se a inclusão de *T. diversifolia* (0, 30, 50 e 100% MN) em silagens de capim-elefante cultivar King Grass. Foram avaliados a composição químico-bromatológica, produção de gás total e emissão de metano entérico *in vitro*. Os resultados mostraram que a inclusão da *Tithonia* elevou os teores de proteína bruta (+101,1%), a digestibilidade da matéria seca (+16,6%), a energia metabolizável (+20,5%) e reduziu os teores de FDN (-27,2%), FDA (-45,3%) e lignina (-49,1%) e, principalmente, reduziu a produção de gás total (até 18,18% no volume total). Os dados obtidos demonstram que a *T. diversifolia* é uma forrageira promissora para o uso em dietas mais sustentáveis, contribuindo para a redução da produção de gás sem comprometer a qualidade nutricional.

**Palavras-chave:** alimentação animal; compostos secundários; metano; propagação vegetativa; silagem mista.

## ABSTRACT

*Tithonia diversifolia* is a highly promising forage plant, primarily due to its adaptability, nutritional value and bioactive compounds, which make it a sustainable alternative in animal production. This thesis includes a literature review and three experiments investigating various aspects of *T. diversifolia* use. The first study, which was conducted at the Palmira campus of the National University of Colombia, evaluated the effect of biostimulants (water, aloe vera extract, and a commercial rooting agent) and cutting length (20 cm, 30 cm, and 40 cm) on the rooting and development of seedlings. Thirty days after planting, the commercial rooting agent increased chlorophyll content by 31.16%. After 60 days, it promoted greater root length (+29.95%), and after 90 days, the control treatment had a higher number of shoots and total plant dry matter. Combining longer cuttings with the commercial rooting agent resulted in improved root and shoot development, producing more vigorous seedlings. The second study, conducted at the Federal Institute of the Southeast of Minas Gerais – Barbacena Campus, aimed to evaluate the chemical and bromatological composition, organic acids, fermentative losses and aerobic stability of elephant grass (BRS Capiçu) silages, both fresh and wilted, with the addition of 10% or 20% Tithonia. Including the plant increased the dry matter content by up to 17.51%, the crude protein content by up to 8.41%, and the acetic acid content by up to 3.58%. Treatment with wilted elephant grass and 20% Tithonia proved to be the most efficient, maintaining aerobic stability for up to 240 hours after opening the silo. The third study, conducted at the National University of Colombia's Palmira campus in partnership with Agrosavia, assessed the impact of adding *T. diversifolia* at levels of 0%, 30%, 50%, and 100% of the fresh matter on elephant grass (King Grass cultivar) silages. Parameters evaluated included the chemical and bromatological composition, total gas production and *in vitro* enteric methane emission. The results showed that the inclusion of Tithonia increased the crude protein content by 101.1%, the dry matter digestibility by 16.6%, and the metabolizable energy by 20.5%. Meanwhile, it reduced the neutral detergent fiber by 27.2%, the acid detergent fiber by 45.3%, the lignin by 49.1%, and notably, the total gas production by up to 18.18%. These findings suggest that *T. diversifolia* is a promising option for improving the sustainability of ruminant diets by reducing greenhouse gas emissions without compromising nutritional quality.

**Keywords:** animal feed; secondary compounds; methane; vegetative propagation; mixed silage.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Componentes vegetativos da *Tithonia diversifolia*: (a) caule, (b) porte e hábito de crescimento, (c) inflorescência e (d) folha. ....23
- Figura 2 - Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média durante o período experimental.....48
- Figura 3 - Número de brotações semanal dos tratamentos avaliados até os 56 DAP. ....58
- Figura 4 - Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média durante as etapas de ensilagem. Fonte: adaptado de INMET (2022).....74
- Figura 5 - Curvas de pH das silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú, exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*, durante exposição ao ar. 2 CF– silagem de Capiaçú fresco; CF + TD10%– silagem de Capiaçú fresco + 10% de *Tithonia*; CF + TD20%– silagem de Capiaçú fresco + 20% de *Tithonia*; CE+ TD 10%- Silagem de Capiaçú Emurchecido + 10% de *Tithonia*; CE+ TD 20%- Silagem de Capiaçú Emurchecido + 20% de *Tithonia*; CE – Silagem de.....83
- Figura 6 - Umidade relativa do ar, temperatura média e precipitação durante as etapas de ensilagem. ....95
- Figura 7 - Biplot da Análise de Componentes Principais (ACP) de parâmetros químico-bromatológicos e compostos secundários de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas. 105
- Figura 8 - Curva de produção acumulada de gases de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas, em relação ao tempo de incubação (h). 0% – silagem exclusiva de capim-elefante cv. King Grass; 30% – silagem de capim-elefante cv. King Grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - silagem de capim-elefante cv. King Grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*. .... 109
- Figura 9 - Curva de produção acumulada de metano de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas, em relação ao tempo de incubação (h). 0% – Silagem exclusiva de King Grass; 30% – Silagem de King grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - Silagem de King grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*. .... 110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Publicações sobre silagem de <i>Tithonia diversifolia</i> nos últimos 10 anos (2014 – 2024).....	22
Tabela 2 - Composição bromatológica (em %) de silagens exclusivas de <i>Tithonia diversifolia</i> encontrada em publicações dos últimos 10 anos (2014 – 2024).....	26
Tabela 3 - Metabólitos secundários presentes na <i>Tithonia diversifolia</i> . ....	28
Tabela 4 - Principais cultivares de capim-elefante utilizadas para a produção de silagem.....	30
Tabela 5 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú colhidas aos 90 e 110 dias após o plantio. ....	32
Tabela 6 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. King grass colhidas em diferentes idades de corte. ....	34
Tabela 7 - Composição bromatológica de silagens mistas de <i>Tithonia diversifolia</i> com <i>Cenchrus purpureus</i> encontrada em artigos científicos publicados entre (2014 – 2024).....	37
Tabela 8 - Tratamentos avaliados com diferentes tipos de enraizadores e tamanhos de estacas de <i>Tithonia diversifolia</i> . ....	49
Tabela 9 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para avaliação agrônômica de mudas de <i>Tithonia diversifolia</i> sob enraizadores (T) e tamanhos de estacas (T) em 60 dias após plantio.....	53
Tabela 10 - Desdobramento da interação Enraizador x Tamanho de estaca para a variável MF raiz (g). ....	54
Tabela 11 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para avaliação agrônômica de mudas de <i>Tithonia diversifolia</i> sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) 90 dias após plantio.....	55
Tabela 12 - Desdobramento da interação Enraizador x Tamanho de estaca para as variáveis ramas, folhas por rama e MF raiz. ....	56
Tabela 13 - Média dos valores para clorofila e área foliar de estacas de <i>Tithonia diversifolia</i> sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) aos 30 e 60 dias pós plantio.....	59
Tabela 14 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para Concentração interna de CO <sub>2</sub> , Transpiração, Condutividade estomática e Fotossíntese de estacas de <i>Tithonia diversifolia</i> sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) 60 dias pós plantio. ....	61

Tabela 15 - Características químicas, bromatológicas e microbiológicas do capim-elefante cv. BRS Capiáçu e <i>Tithonia diversifolia</i> no momento da ensilagem.....	75
Tabela 16 - Composição químico-bromatológica e concentração de ácidos graxos voláteis de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu exclusivas ou combinadas com <i>Tithonia diversifolia</i> .....	79
Tabela 17 - Perdas fermentativas em silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu exclusivas ou combinadas com <i>Tithonia diversifolia</i> . ....	80
Tabela 18 - Contagem microbiana em silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu exclusivas ou combinadas com <i>Tithonia diversifolia</i> . ....	81
Tabela 19 - Resultados da avaliação da estabilidade aeróbia de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu exclusivas ou combinadas com <i>Tithonia diversifolia</i> .	82
Tabela 20 - Composição químico-bromatológica de <i>Tithonia diversifolia</i> e capim-elefante cv. King Grass no momento da ensilagem. ....	97
Tabela 21 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de <i>Tithonia diversifolia</i> , exclusivas ou combinadas. ....	103
Tabela 22 - Compostos secundários de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de <i>Tithonia diversifolia</i> , exclusivas ou combinadas.....	104
Tabela 23 - Parâmetros de produção ruminal de gases <i>in vitro</i> de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de <i>Tithonia diversifolia</i> , exclusivas ou combinadas.	107
Tabela 24 - Padrões de fermentação ruminal <i>in vitro</i> de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de <i>Tithonia diversifolia</i> , exclusivas ou combinadas.....	111
Tabela 25 - Equação de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro médio quadrático (RMSE) das variáveis química-bromatológicas, compostos secundários e produção de gases de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de <i>Tithonia diversifolia</i> , exclusivas ou combinadas.....	111

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

AGV	- Ácidos graxos voláteis
BAL	- Bactérias ácido lácticas
CO <sub>2</sub>	- Dióxido de carbono
CS	- Carboidratos solúveis
EA	- Estabilidade aeróbica
EE	- Extrato etéreo
FDA	- Fibra insolúvel em detergente ácido
FDN	- Fibra insolúvel em detergente neutro
GEE	- Gases do efeito estufa
ha	- Hectare
HPLC	- Cromatografia líquida de alto desempenho
MS	- Matéria seca
MV	- Matéria verde
NIRS	- Espectroscopia no infravermelho próximo
PB	- Proteína bruta
pH	- Potencial hidrogeniônico
PMSea	- Perda de matéria seca durante a estabilidade aeróbica
TD	- <i>Tithonia diversifolia</i>
Tmax	- Temperatura máxima atingida pela silagem durante a exposição
aeróbica	
t	- Tonelada
UFC	- Unidades formadoras de colônias

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
2.1	TITHONIA DIVERSIFOLIA E CAPIM-ELEFANTE: ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES.....	20
2.2	TITHONIA DIVERSIFOLIA (HEMSL.) A. GRAY.....	21
2.2.1	ORIGEM E USOS.....	21
2.2.2	CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PROPAGAÇÃO.....	23
2.2.3	COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA.....	25
2.2.4	TITHONIA DIVERSIFOLIA E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO.....	27
2.2.5	CENCHRUS PURPUREUS SCHUM.....	30
2.2.6	CAPIM-ELEFANTE CULTIVAR BRS CAPIAÇU.....	32
2.2.7	CAPIM-ELEFANTE CULTIVAR KING GRASS.....	33
2.3	SILAGENS MISTAS.....	34
2.3.1	CARACTERÍSTICAS DE SILAGENS MISTAS.....	35
2.3.2	SILAGEM DE CAPIM-ELEFANTE (BRS CAPIAÇU E KING GRASS) E TITHONIA DIVERSIFOLIA.....	35
<b>3.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DE INDUTORES DE ENRAIZAMENTO E O TAMANHO DAS ESTACAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE TITHONIA DIVERSIFOLIA (HEMSL.) A. GRAY</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
4.2.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTAÇÃO.....	48
4.2.2	TRATAMENTOS E DESENHO EXPERIMENTAL.....	48
4.2.3	APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E PLANTIO.....	49
4.2.4	VARIÁVEIS ANALISADAS.....	50
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>
4.4.1	AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA 60 E 90 DIAS PÓS-PLANTIO.....	51
4.4.2	TEOR DE CLOROFILA E ÁREA FOLIAR.....	58
4.4.3	TAXA FOTOSSINTÉTICA.....	60
<b>4.5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>62</b>

4.5.1	AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA 60 E 90 DIAS PÓS-PLANTIO .....	62
4.5.2	TEOR DE CLOROFILA, ÁREA FOLIAR E TAXA FOTOSSINTÉTICA .....	65
<b>4.6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>4.7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO III - INCLUSÃO DE <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i> EM SILAGENS DE CAPIM ELEFANTE CV. BRS CAPIAÇU .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>73</b>
5.2.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL .....	73
5.2.2	CONDUÇÃO E COLHEITA DAS CULTURAS.....	74
5.2.3	TRATAMENTOS E ENSILAGEM .....	75
5.2.4	AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS .....	76
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>77</b>
<b>5.4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
<b>5.5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>83</b>
5.5.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA E PRODUTOS DA FERMENTAÇÃO.....	83
5.5.2	PERDAS FERMENTATIVAS.....	86
5.5.3	POPULAÇÃO MICROBIANA DA SILAGEM.....	86
5.5.4	ESTABILIDADE AERÓBIA .....	87
<b>5.6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>5.7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO IV - PRODUÇÃO DE METANO <i>IN VITRO</i> DE SILAGENS DE CAPIM-ELEFANTE CV. KING GRASS COM INCLUSÃO DE <i>TITHONIA DIVERSIFOLIA</i> .....</b>	<b>93</b>
<b>6.1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>6.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>95</b>
6.2.1	LOCAL E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS .....	95
6.2.2	CONDUÇÃO, COLHEITA E SECAGEM DAS CULTURAS .....	95
6.2.3	TRATAMENTOS E ENSILAGEM .....	96
6.2.4	AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS DAS SILAGENS .....	97
6.2.5	FERMENTAÇÃO RUMINAL <i>IN VITRO</i> .....	98
6.2.5.1	ANIMAIS.....	98

6.2.5.2	ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE GASES.....	98
6.2.5.3	ANÁLISE DA DIGESTIBILIDADE POTENCIAL DAS SILAGENS .....	100
6.2.5.4	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FERMENTATIVOS.....	100
<b>6.3</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>100</b>
<b>6.4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
6.4.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA .....	103
6.4.2	ASSOCIAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICO-BROMATOLÓGICOS E COMPOSTOS SECUNDÁRIOS .....	105
6.4.3	PRODUÇÃO RUMINAL DE GASES <i>IN VITRO</i> .....	106
6.4.4	PARÂMETROS DE FERMENTAÇÃO RUMINAL .....	110
<b>6.5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>112</b>
6.5.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA .....	112
6.5.2	COMPOSTOS SECUNDÁRIOS .....	114
6.6	ASSOCIAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICO-BROMATOLÓGICOS E COMPOSTOS SECUNDÁRIOS .....	115
6.7	PRODUÇÃO DE GASES E PARÂMETROS FERMENTATIVOS RUMINAIS <i>IN VITRO</i> .....	116
<b>6.8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>118</b>
<b>6.9</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>118</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>125</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho é considerado a cultura padrão para a produção de silagem e, por isso, geralmente é tomado como referência para estimar o valor nutritivo de outras silagens (Beleze et al., 2003; Neumann et al., 2007; Jobim et al., 2010). No entanto, a sua produção é influenciada pela disponibilidade hídrica no solo, o que resulta em variações da qualidade entre safras (Nussio, 1991) e, conseqüentemente, prejudica o atendimento às exigências nutricionais dos animais, impactando os níveis de produtividade. Além disso, o milho apresenta custos de produção elevados, tornando-se economicamente inviável para pequenos produtores.

Uma opção para diminuir o custo de produção destas propriedades seria a busca por alimentos de alta disponibilidade e/ou adaptabilidade à região e valor acessível. A agropecuária brasileira apresenta grande aptidão para utilização de leguminosas e gramíneas na alimentação de ruminantes devido a extensa biodiversidade florística tropical, a qual permite a busca por forrageiras que ainda são pouco avaliadas para a nutrição animal (Ribeiro, 2016).

A substituição das silagens de milho por silagens mistas, ou seja, silagens compostas por duas ou mais culturas, pode ser uma boa alternativa visto que dificilmente uma única cultura suprirá as exigências nutricionais e fermentativas para uma boa silagem. A junção de culturas pode melhorar a composição químico-bromatológica, principalmente aumentando o teor de proteína bruta, elevar a estabilidade aeróbica, mitigar emissões de metano entérico pelos animais e diversificar os recursos forrageiros disponíveis, reduzindo a dependência de insumos externos, como os concentrados.

Dentre as forrageiras de grande potencial para a alimentação animal se destaca a *Tithonia diversifolia*, comumente conhecida como botão de ouro, girassol mexicano ou margaridão. Essa é uma forrageira arbustiva tropical, de baixa demanda de nutrientes do solo, alta concentração de proteína bruta e que pode ser utilizada para múltiplos propósitos, como, pastejo, corte ou silagem (Zapata e Silva, 2010; Ribeiro, 2016). Além de seu valor nutricional, a planta apresenta compostos secundários que podem contribuir para a redução das emissões de metano entérico em ruminantes, tornando-a uma alternativa promissora para sistemas de produção mais sustentáveis.

Outra forrageira amplamente utilizada na alimentação animal é o capim-elefante (*Cenchrus purpureus*) especialmente as cultivares BRS Capiçu e King grass,

caracterizadas por alta produtividade, rápido crescimento e boa qualidade nutricional (Caballero-Gómez et al., 2016; Pereira et al., 2016). A utilização de silagem mista de capim-elefante e *Tithonia* pode ser uma eficiente alternativa para viabilizar o incremento proteico na silagem, além de diminuir os custos de produção.

Apesar das inúmeras possibilidades de uso de forrageiras e suas combinações, essa é uma área ainda pouco difundida, seja por impasses relacionados à pesquisa ou à extensão, o que acaba subestimando uma possível melhora produtiva nos sistemas brasileiros de produção de ruminantes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o método de propagação vegetativa mais eficiente da *Tithonia diversifolia* e investigar o potencial dessa forrageira na produção de silagens, tanto exclusivas quanto combinadas ao capim-elefante, bem como seus efeitos sobre a fermentação ruminal e a produção de metano entérico *in vitro*.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TITHONIA DIVERSIFOLIA E CAPIM-ELEFANTE: ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES.

Devido às mudanças climáticas, econômicas e de mercado, a busca por novas tecnologias dentro da nutrição de ruminantes aumentou consideravelmente. Uma das despesas mais representativas dentro da produção animal é a alimentação, a qual facilmente pode alcançar 70% dos custos totais de produção, sendo o concentrado o item mais oneroso (Goes et al., 2013). Assim, um dos principais desafios em nutrição de ruminantes é fornecer aos rebanhos dietas nutritivas a preços acessíveis aos produtores, colaborando para a competitividade da atividade.

Tradicionalmente, a cultura do milho é considerada uma das melhores culturas para a ensilagem devido a sua composição química favorecer a fermentação láctica e, conseqüentemente, gerar uma silagem de boa qualidade, além de sua alta produtividade e energia (Borém et al., 2017). No entanto, fatores como o aumento do custo de produção, a escassez de insumos agrícolas e as variações climáticas podem reduzir a viabilidade do cultivo do milho para ensilagem, resultando em menor disponibilidade de silagem nos períodos do ano em que há maior demanda pelo alimento.

Com isso, o uso de forrageiras não convencionais torna-se uma opção vantajosa, pois em muitas situações pode reduzir os custos com a alimentação, manter a

produtividade do rebanho e a qualidade da dieta, e aumentar a margem de lucro. Como exemplo, pode-se citar os resíduos de indústrias, farelos (canola, trigo e arroz) e forrageiras arbustivas (gliricídia, leucena e guandu), os quais já são utilizados na nutrição animal. Atualmente, as pesquisas buscam por novos produtos e subprodutos que tenham potencial para serem utilizados na dieta dos animais. Contudo, antes da disseminação de informação, é necessário conhecer qual o nível ideal de inclusão nas dietas, seus prós e contras.

## 2.2 TITHONIA DIVERSIFOLIA (HEMSL.). A. GRAY

### 2.2.1 ORIGEM E USOS

Comumente conhecida como botão de ouro, girassol mexicano, margaridão, entre outros, a *Tithonia diversifolia* é uma forrageira herbácea-arbustiva tropical, de ciclo perene, pertencente à família *Asteracea*, gênero *Tithonia*, nativa da América Central (Ribeiro, 2016), sendo cultivada em países como Argentina, Colômbia, Uruguai e México.

Essa espécie possui grande capacidade de adaptação, podendo ser encontrada desde o nível do mar até 2.400 m de altitude, em locais com precipitações entre 800 e 5.000 mm/ano, tolerante a solos ácidos (Souza, 2017), plantada em cultivo exclusivo ou consorciada (milho, café e braquiária), além de se destacar por seus multipropósitos, como forragem (Odiere et al., 2014), adubo verde (Shokalu et al., 2010), planta melífera (Medina et al. 2009), ornamental (Kato, 1998) e como matéria-prima para a indústria farmacêutica (Miura et al., 2005).

Embora seja uma planta rústica, a *Tithonia* é pouco tolerante a baixas temperaturas (< 10 °C), o que não a impede de ser cultivada em regiões tropicais e subtropicais do Brasil (Pérez et al., 2009). Apesar de sua excelente adaptação às condições edafoclimáticas tropicais (Souza, 2017), informações referentes ao seu valor nutritivo para as condições brasileiras ainda são escassas. Estudos realizados em países de clima tropical, como Cuba, Colômbia e África, destacam o potencial de utilização dessa espécie em sistema de produção animal sob pastejo (Lazo et al., 2015), em dietas de caprinos (Tendonkeng, et al., 2014), ovinos (Ramírez-Rivera et al., 2010), aves (Togun et al., 2006) e vacas leiteiras (Mahecha et al., 2007), além da possibilidade de fenação, ensilagem e como capineira para a alimentação de ruminantes (Ribeiro, 2016).

Na forma de silagem os dados ainda são escassos. Através de um levantamento de artigos usando ferramentas de busca científicas (Web of Science, Scopus e Google Scholar) e palavras-chave como botão de ouro, silagem, composição e *Tithonia diversifolia*, com uso de conectores booleanos, apenas 11 artigos foram encontrados nos últimos 10 anos (Tabela 1) sendo 72.7% desses utilizando-a como silagens mistas.

Tabela 1 - Publicações sobre silagem de *Tithonia diversifolia* nos últimos 10 anos (2014 – 2024).

Autores	País de estudo	Tipo de silagem
Dávila-Hidalgo et al. (2016)	Guatemala	Mista ( <i>Sorghum vulgare</i> e <i>T. diversifolia</i> )
Morales et al. (2016)	Cuba	Exclusiva e Mista ( <i>C. purpureus</i> cv. King grass e <i>T. diversifolia</i> )
Betancourt et al. (2017)	Colômbia	Exclusiva e Mista (farelo de mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> e <i>T. diversifolia</i> ))
Bedoya-Mejía et al. (2017)	Colômbia	Exclusiva
Holguin et al. (2018)	Colômbia	Exclusiva e Mista ( <i>C. purpureus</i> cv. King grass e <i>T. diversifolia</i> )
Holguin et al. (2020)	Colômbia	Exclusiva e Mista ( <i>C. purpureus</i> cv. King grass e <i>T. diversifolia</i> )
González et al. (2020)	Colômbia	Exclusiva e Mista ( <i>C. purpureus</i> e <i>T. diversifolia</i> )
Holguin et al. (2021)	Colômbia	Exclusiva e Mista ( <i>C. purpureus</i> cv. King grass e <i>T. diversifolia</i> )
Angulo-Arizala et al. (2022)	Colômbia	Exclusiva
Rodríguez-Oliva et al. (2022)	Cuba	Exclusiva
Rodríguez-Badilla et al. (2022)	Costa Rica	Mista ( <i>C. purpureus</i> x <i>C. glaucum</i> - Cuba OM22) e <i>T. diversifolia</i>

Como observado na Tabela 1, os estudos envolvendo a inclusão de *T. diversifolia* em silagens variam quanto ao tipo de uso (exclusivo ou misto) e às condições geográficas, o que evidencia a importância de se considerar fatores como ambiente edafoclimático e estágio de desenvolvimento das plantas. Esses fatores influenciam diretamente a qualidade da silagem, o que justifica a necessidade de uma análise mais aprofundada.

### 2.2.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PROPAGAÇÃO

A *T. diversifolia* possui caule ereto, folhas alternadas, pecioladas, com bordas serrilhadas e levemente pilosas, podendo atingir 20 cm de comprimento e de largura, e com inflorescência do tipo capítulo (Figura 1) de coloração amarela ou alaranjada (Lusweti et al., 2011; Silva et al., 2018). Trata-se de uma espécie alógama, que realiza preferencialmente polinização cruzada devido ao grande número de insetos que visitam suas inflorescências (Silva et al., 2012).

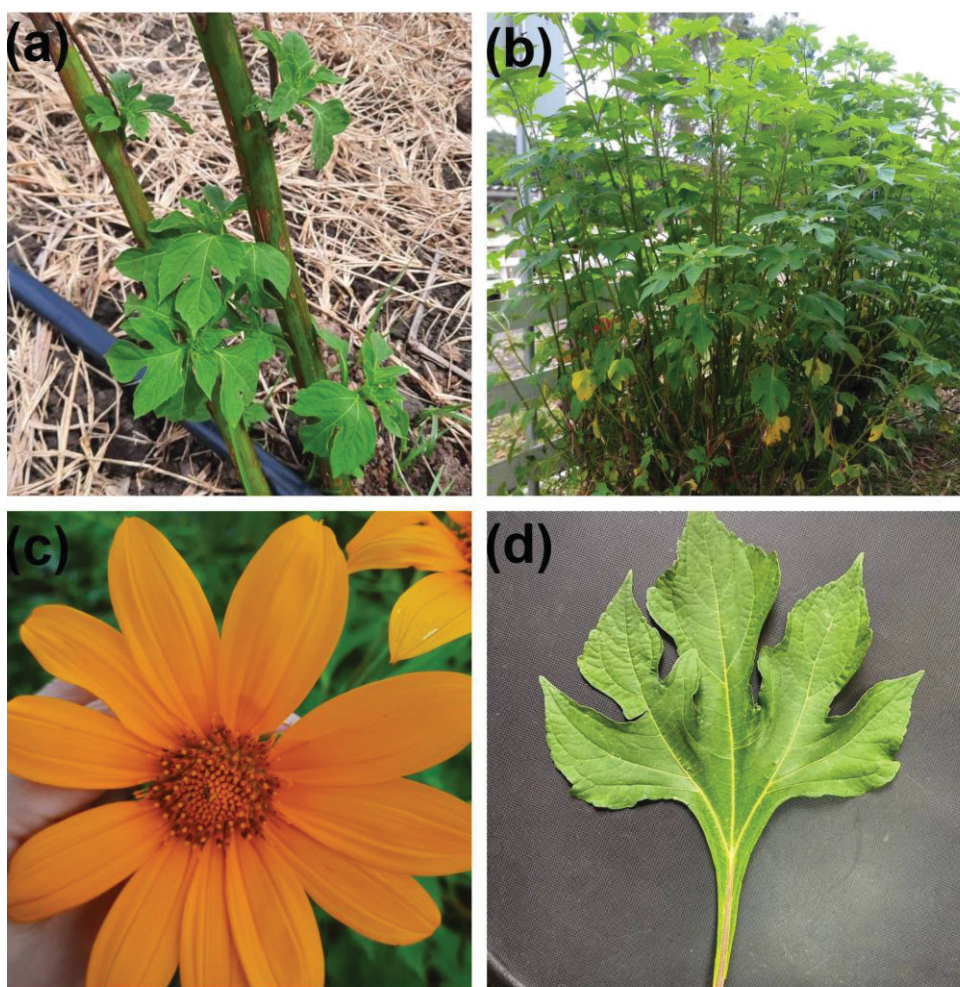


Figura 1 - Componentes vegetativos da *Tithonia diversifolia*: (a) caule, (b) porte e hábito de crescimento, (c) inflorescência e (d) folha.

Fonte: a autora (2023).

O sistema radicular é do tipo fasciculado, caracterizado por raízes finas e numerosas que se ramificam a partir da base do caule, o qual aumenta a absorção de nutrientes e melhora a qualidade do solo. Associado a isso, também apresenta alta

velocidade de decomposição das folhas e elevada capacidade de mobilizar fósforo do solo (Medina et al., 2009; Crespo et al., 2011).

As informações referentes ao manejo de adubação ainda são escassas, assim, na maioria das vezes são utilizadas as recomendações de culturas com características semelhantes, como, por exemplo, o girassol (*Helianthus annuus L.*). No entanto, trata-se de uma recomendação errônea, pois o girassol é uma planta anual enquanto a *Tithonia* é uma planta perene, o que pode levar a falta ou excesso de algum nutriente (Silva et al., 2018). Em geral, sabe-se que a *T. diversifolia* possui pouca exigência de nutrientes, tolera condições de acidez do solo (Silva et al., 2018), e responde bem à adubação orgânica (Reis et al., 2016), podendo ser uma boa opção quando necessário.

A propagação da *T. diversifolia* pode ser realizada por sementes ou estacas. Devido à dormência das sementes, a propagação por esse meio é pouco viável (Reis et al., 2018), sendo então a estaquia a forma mais utilizada, apresentando fácil enraizamento em condições ideais de manejo. Recomenda-se utilizar estacas de 20 a 30 cm de comprimento, retiradas do terço médio dos caules verdes, e plantadas verticalmente com leve inclinação, a aproximadamente 10 cm de profundidade do solo (Owoyele et al., 2004).

O espaçamento mais utilizado é o convencional (1 m x 1 m - 10.000 plantas/ha), sendo o mesmo utilizado para sistemas de pastejo. Entretanto, com o avanço das pesquisas, surgiram outros espaçamentos como os duplos (1,5 m x 0,5 m - 20.000 plantas/ha) e os adensados (0,50 m x 0,75 m - 26.667 plantas/ha) (Gualberto et al., 2011). A escolha da densidade de plantio leva em consideração a finalidade do cultivo, se é destinada para a produção de silagem (adensados) ou para uso como quebra-vento (convencional), se é consorciada e com qual cultura, e se será adubada, irrigada (adensados) ou de sequeiro (convencional).

Essa espécie apresenta rápido crescimento, podendo chegar até 5 m de altura, fornecendo uma alta produção de biomassa (30 t/MS/ha) decorrente da alta velocidade de rebrota, mesmo após cortes sucessivos, o que possibilita efetuar cerca de 7 cortes ao longo do ano (Sao et. al., 2010; Nieves et al., 2011). Estudos como o de Gualberto et al. (2011) demonstraram que a *Tithonia* produziu 3,5 t MS/ha em um único corte quando em espaçamento de 1 m x 0,75 m. Já Rutunga et al. (1999) obtiveram 11 t MS/ha/ano utilizando espaçamento de 0,5 m x 0,5 m.

No Brasil, a *Tithonia* é capaz de produzir mais de 25 t MS/ha aos 77 dias de rebrota em área irrigada (Souza, 2017), e valores semelhantes (21,6 t MS/ha) aos 120 dias após o plantio em condições de sequeiro (Silva et al., 2018).

### 2.2.3 COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA

A *T. diversifolia* possui características nutricionais semelhantes à de plantas leguminosas como a leucena (*Leucaena leucocephala*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), gliricídia (*Gliricidia sepium*) e estilosantes (*Stylosanthes spp.*) devido sua capacidade peculiar de acumular nitrogênio nas folhas (Souza, 2017).

Segundo Gallego-Castro et al. (2014), a composição nutricional pode mudar em virtude do manejo e das condições edafoclimáticas, porém, durante o período seco, o valor nutritivo da *T. diversifolia* é mantido relativamente constante (Sao et al., 2010; Ruiz et al., 2014).

Comparada com outras forrageiras tropicais, a *Tithonia* apresenta elevados teores de proteína bruta (PB), em torno de 24,5% (Wambui et al., 2006; Rivera et al., 2010; Tendonkeng et al., 2014). Esses teores, no entanto, variam de acordo com a idade da planta, podendo atingir 29,8% aos 30 dias e reduzir-se para 11,0% aos 60 dias de crescimento (Lezcano et al., 2012). Em relação aos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), Naranjo e Cuartas (2011) encontraram valores de 38,6% e 34,5%, respectivamente, os quais indicam um bom equilíbrio entre fibra e proteína para favorecer a fermentação ruminal. Além disso, a *T. diversifolia* apresenta altos níveis de carboidratos solúveis (9,6 a 12,9%) e amido (4,5 a 6,7%), também variando em função do estágio vegetativo da planta (Medina et al., 2009).

Mahecha et al. (2007) constataram que a *T. diversifolia* pode substituir (em base de MS) até 35% do concentrado na dieta de vacas leiteiras, sem nenhum efeito adverso sobre a produção e composição do leite. Esse achado corrobora os resultados de Ribeiro et al. (2016), que, ao substituírem 20,8% da cana-de-açúcar (baixo teor de proteína e alta fibra) e até 11,4% do concentrado (rico em energia e proteína) por 15,4% de *T. diversifolia* (alta concentração de proteína bruta e baixo teor de fibra), não observaram efeitos significativos sobre a produção e composição do leite, o balanço de nitrogênio e a emissão de metano em vacas leiteiras. Para complementar, Terry et al. (2016) encontraram mais um achado em experimento *in vitro*. Os autores observaram que, ao substituir 15,2% da cana-de-açúcar e até 14%

dos concentrados por *T. diversifolia*, obteve-se um aumento linear de 41% e 15,9% na produção de acetato e butirato, respectivamente, e uma diminuição de 33,19% na produção de propionato. Essa alteração pode favorecer dietas com alta proporção de forragem, potencialmente beneficiando a síntese de gordura do leite; contudo, reduções na produção de propionato podem comprometer a gliconeogênese e o fornecimento de energia para animais de alta produção, especialmente em sistemas leiteiros intensivos.

Sobre a qualidade do leite, Bedoya-Mejía et al. (2017), ao oferecerem silagem de *T. diversifolia* a ovinos, constataram aumento no teor de gordura do leite, de 6,1% em relação ao tratamento controle (5,8%), ao qual não foi oferecida a silagem. Efeito semelhante foi observado por Angulo-Arizala et al. (2022) quando compararam o desempenho produtivo de vacas leiteiras alimentadas com silagem exclusiva de *T. diversifolia* e com silagem de milho. Animais alimentados com silagem de *Tithonia* apresentaram +1,74 kg de leite/an/dia, +6,10% de gordura e melhora na eficiência alimentar (1,26 vs 1,34 kg de leite/kg MS, respectivamente), o que ao final representou uma redução de 4,5% dos custos/an/dia, evidenciando a viabilidade econômica da *Tithonia*.

Na Tabela 2 é apresentada a composição bromatológica de silagens exclusivas de *Tithonia* a partir de estudos realizados na última década.

Tabela 2 - Composição bromatológica (em %) de silagens exclusivas de *Tithonia diversifolia* encontrada em publicações dos últimos 10 anos (2014 – 2024).

Autores	Variáveis <sup>1</sup>				Observações
	MS	PB	FDN	FDA	
Betancourt et al. (2017)	23,20	22,13	16,38	16,92	Folhas aos 42 DR
Bedoya-Mejía et al. (2017)	-	9,42	52,08	40,35	Planta inteira aos 40 DR
Holguin et al. (2018)	28,0	16,09	41,06	28,01	Planta inteira aos 60 DR
González et al. (2021)	30,07	9,36	49,17	38,17	Planta inteira aos 90 DR
Holguin et al. (2021)	27,60	18,10	38,60	28,10	Planta inteira aos 60 DR
Angulo-Arizala et al. (2022)	15,0	22,40	37,70	-	Planta inteira aos 70 DR

<sup>1</sup>MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; FDN – Fibra insolúvel em detergente neutro; FDA – Fibra insolúvel em detergente ácido; DR – Dias de rebrota.

A idade da planta no momento do corte exerce influência significativa sobre sua composição bromatológica, especialmente no que diz respeito ao teor de proteína bruta (PB), fibras (FDN e FDA) e matéria seca (MS). Como observado na Tabela 2, há grande variação entre os estudos quanto ao valor nutritivo da *Tithonia diversifolia*, dependendo da idade de rebrota e da parte da planta utilizada. Por exemplo, Betancourt et al. (2017) reportaram 22,13% de PB em folhas colhidas aos 42 dias de rebrota, enquanto Bedoya-Mejía et al. (2017) encontraram apenas 9,42% em planta inteira colhida aos 40 dias, o que evidencia a diferença entre tecidos. Além disso, Holguín et al. (2018) observaram teores de 28% de MS e 16,09% de PB aos 60 dias, com FDN e FDA de 41,06% e 28,01%, respectivamente. Com o avanço da maturidade, há uma tendência de redução do teor de proteína bruta (PB), como evidenciado por González et al. (2021), que encontraram apenas 9,36% de PB aos 90 dias. Esses dados reforçam a importância de escolher adequadamente o ponto de corte, pois, embora plantas mais jovens apresentem um perfil nutricional superior (maior proteína e menor teor de fibras), elas também têm menor teor de matéria seca (MS), o que pode resultar em uma perda de produtividade por área. Portanto, é necessário equilibrar a qualidade nutricional da silagem com a produtividade da cultura para garantir a melhor relação custo-benefício.

#### 2.2.4 TITHONIA DIVERSIFOLIA E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE METANO ENTÉRICO

O rebanho bovino brasileiro é estimado em cerca de 234 milhões de cabeças (ABIEC, 2023). Entretanto, esse número traz à tona uma preocupação crescente com os impactos ambientais associados à pecuária, especialmente em relação às emissões de metano resultantes da fermentação entérica e ao manejo inadequado de dejetos (Berchielli et al., 2012). Embora a pecuária seja frequentemente apontada como uma das atividades agropecuárias com maior contribuição para as emissões de gases de efeito estufa, é importante destacar que esses impactos variam de acordo com o sistema produtivo adotado. Estratégias de manejo adequado, suplementação nutricional e melhoria da eficiência produtiva podem reduzir significativamente a pegada ambiental da atividade.

A produção de metano entérico é inevitável e trata-se de uma parte fundamental do processo digestivo dos ruminantes. A intensidade das emissões desse gás varia em função da espécie animal, devido a diferenças no tamanho e na capacidade do

rúmen, bem como do consumo e da digestibilidade da dieta. Para a mitigação do metano, Berchielli et al. (2012) recomendam melhorar a dieta e as pastagens, utilizar suplementação alimentar, aumentar a capacidade produtiva dos animais e adotar um conjunto de práticas que promovam maior eficiência produtiva, resultando em ciclos de produção mais curtos.

Nos últimos anos, forrageiras arbustivas como a *T. diversifolia* têm recebido atenção de pesquisadores visto seu potencial em aumentar a eficiência fermentativa e reduzir as emissões entéricas de metano. Galindo et al. (2011) afirmaram que essa planta, quando relacionada a possíveis estímulos para maior atividade microbiana celulolítica e menor atividade dos microrganismos metanogênicos, pode ser uma forrageira de alto potencial para alimentação de vacas lactantes de alta produção.

Há duas possíveis explicações para esse efeito. Em primeiro lugar, seus metabólitos secundários, como taninos e compostos fenólicos (Tabela 3), atuam diretamente nas populações de microrganismos metanogênicos. Dentre esses compostos bioativos está a sesquiterpena lactona, chamada de Tagitininas, predominantemente encontrada em plantas da família *Asteraceae*, e que possui atividade anti-inflamatória e anticancerígena (Matejic et al., 2014; Ajao & Moteetee, 2017), apontada como uma opção promissora para reduzir as emissões de metano em ruminantes (Chagas-Paula et al., 2012; Rivera et al., 2021).

Tabela 3 - Metabólitos secundários presentes na *Tithonia diversifolia*.

Nome	Quantidade, g/kg MS
Taninos totais	5,39
Taninos condensados	6,60
Polifenóis	6,26

Fonte: adaptado de Varón e Granados (2012).

Contudo, a ingestão de taninos em alta quantidade (6% a 12% da MS), podem ocasionar efeito depressivo sobre o consumo voluntário e redução na eficiência do processo digestivo e produtividade animal (Oliveira e Berchielli, 2007). A *T. diversifolia* em comparação à outras forrageiras tropicais possui concentração de taninos condensados relativamente alta em comparação aos encontrados por exemplo em *Brachiaria humidicola* e *Paspalum notatum* que são geralmente são inferiores a 1,8 g/kg MS (Jackson et al., 1996). Esses compostos possuem propriedades antimicrobianas que podem inibir a atividade de archeas metanogênicas do trato digestivo dos animais. Essa particularidade, associada à alta digestibilidade (65%) da

Tithonia, resulta em maior eficiência alimentar e menor produção de dejetos, conseqüentemente, colaborando com a menor produção de metano.

Em segundo lugar, de forma indireta, a presença dessa planta no rúmen altera a proporção dos substratos disponíveis aos microrganismos para a produção de metano, como o hidrogênio e o dióxido de carbono (Patra & Yu 2015; Ribeiro et al., 2016; Terry et al., 2016). Isso ocorre porque compostos bioativos presentes na planta, como taninos e flavonoides, podem inibir a atividade dos microrganismos metanogênicos, responsáveis pela produção de metano.

Outro mecanismo indireto é a influência negativa da *T. diversifolia* sobre as populações de protozoários, visto que esses organismos mantêm uma relação estreita com as *Archaeas* metanogênicas (Newbold et al., 2015), desempenhando papel fundamental como produtores ruminais de hidrogênio que, conseqüentemente, será utilizado pelas arqueias hidrogenotróficas para a síntese de metano (Morgavi et al., 2012). Estudos de Galindo et al. (2011) e González et al. (2021) revelaram que substratos de *T. diversifolia* resultaram em menor produção de metano *in vitro*, e atribuíram essa redução ao impacto negativo da TD nas populações de protozoários, causado pela presença de taninos na planta.

Outro aspecto importante a ser considerado é o metabolismo das plantas. As plantas do tipo C4 (cana-de-açúcar, capim-elefante, milho e sorgo) apresentam maior proporção de fibras em comparação às plantas de metabolismo C3, como a *T. diversifolia*. De acordo com a meta-análise de Archimède et al. (2011), a produção de metano entérico é de 10 a 17% maior em gramíneas do tipo C4 quando comparadas às C3, o que se deve, em grande parte, à maior deposição de lignina nas plantas C4. Esse fator compromete a digestibilidade e reduz a taxa de fermentação ruminal, favorecendo a fermentação acética — via fermentativa menos eficiente do ponto de vista energético e associada à maior emissão de CH<sub>4</sub> (g/dia).

Gonzalez et al. (2021) avaliaram diferentes inclusões (0, 33, 67 e 100%) de *T. diversifolia* às silagens de *C. purpureus* e verificaram que as inclusões de 67 e 100% diminuíram a produção de metano entérico, o que representa menor perda de energia durante a digestão microbiana e maior aproveitamento desse alimento pelos ruminantes. Holguin et al. (2020) também observaram esse efeito quando estudaram silagens de *C. purpureus* com 33% de Tithonia aditivadas com inoculante comercial. Por fim, os autores verificaram que essas silagens geraram menor produção de metano quando comparadas às silagens exclusivas de capim-elefante (1,36 e 2,43

mmol/g, respectivamente). Esses resultados destacam a importância de investigar a *T. diversifolia* não apenas para incrementar o valor nutricional, mas também para tornar os sistemas de produção de ruminantes mais eficientes e de menor emissão de gases de efeito estufa.

Rivera et al. (2022) observaram redução significativa nas emissões de metano de vacas que ingeriram dieta composta por *Tithonia* (15% da MS), substituindo parte do capim *Brachiaria humidicola* não interferindo na produção de leite. Contudo, Maurício et al. (2014), ao incluírem *T. diversifolia* na dieta de ruminantes em níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% da matéria seca, e Botero-Londoño et al. (2015), que avaliaram dietas com silagem composta por *T. diversifolia* e *Sambucus peruviana* (50:50), com inclusão de 10% na dieta total, não observaram redução significativa nas emissões de metano. Porém, os últimos autores reiteram a necessidade de identificar o impacto da inclusão dessa planta nos sistemas de produção animal em diferentes condições climáticas.

## 2.2.5 CENCHRUS PURPUREUS SCHUM

O capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schum), originário do continente africano, pertence à família *Poaceae*, gênero *Cenchrus*. Essa gramínea foi introduzida no Brasil em 1960 e atualmente é uma das forrageiras mais utilizadas para a alimentação de ruminantes devido a sua elevada produção de MS (Tabela 4), bom valor nutritivo, boa aceitabilidade pelos animais, vigor e persistência, sendo cultivada em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (Pereira et al., 2017).

Tabela 4 - Principais cultivares de capim-elefante utilizadas para a produção de silagem.

Cultivares	Variáveis <sup>1</sup>				
	MS (t/ha/ano)	Folhas (t MS/ha/ano)	PB %	Dig %	Fibras %
BRS Capiaçú	49,75	21,60	9,10	56,24	72,2
Cameroon	29,87	14,32	7,17	58,49	73,80
Mineiro	36,79	16,16	6,94	51,32	71,03
King grass	21,8	-	8,7	51,99	76,91

<sup>1</sup>MS - Matéria seca; PB - Proteína Bruta; Dig - Digestibilidade.

Fonte: adaptado de Pereira et al. (2016) e Hernandez & Rodriguez (2009).

Esse gênero possui metabolismo C4 (Chaves et al., 2013), hábito de crescimento cespitoso, porte ereto acima de 3,0 m de altura e sistema radicular fasciculado e profundo. Suas folhas podem atingir até 1,25 m de comprimento tendo, no máximo, 4,0 cm de largura. As inflorescências são classificadas como panículas espiciformes (Pereira et al., 2010) e seus perfilhos são aéreos e basilares, com formação de touceiras densas e vigorosas (Pereira et al., 2008).

É propagado por meio vegetativo através de colmos (estacas), contendo de 3 a 5 gemas de 20 a 30 cm (Dall'agnol et al., 2004). Além disso, se caracteriza por sua exigência quanto à fertilidade do solo, atingindo melhor desenvolvimento em solos com capacidade de reter umidade, porém sendo pouco tolerante ao encharcamento (Pereira et al., 2008).

É reconhecidamente uma das gramíneas tropicais de maior potencial produtivo e, por isso, trata-se de uma das plantas forrageiras mais utilizadas para a produção de silagens (Andrade e Melotti, 2004). Contudo, no geral, apresenta alguns aspectos desfavoráveis em relação às gramíneas tradicionalmente utilizadas para ensilagem, como o milho e o sorgo. Pode-se citar: baixo teor de carboidratos solúveis (CS) (5,8% da MS), baixa MS no momento da colheita (11 a 20%), alto poder tampão (35 a 50 meq/100 g/MS), baixa população epifítica de bactérias ácido lácticas (< 6,0 log UFC/g) e menor NDT (Pereira et al., 2016).

Para contornar as limitações associadas ao excesso de umidade na ensilagem, recomenda-se que o corte seja realizado quando a capineira atingir aproximadamente 90 dias após a rebrota, com altura de cerca de 1,80 m para os cultivares Napier e Cameroon, e entre 3,5 e 4,0 m para o BRS Capiáçu e King Grass (Figueiredo et al., 2019). Nessa fase, o teor de umidade da planta varia de 78 a 82%, o que pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis e comprometer a qualidade da silagem (Daniel et al., 2019). Diante disso, práticas como o emurhecimento (pré-secagem) e o uso de aditivos tornam-se fundamentais para evitar ou controlar fermentações secundárias e preservar a qualidade do material ensilado.

Como demonstrado na Tabela 4, as cultivares de capim-elefante utilizadas para a produção de silagem podem variar expressivamente, especialmente em relação à quantidade de MS e teor de PB. Ainda assim, representam uma opção de baixo custo para a suplementação volumosa em períodos estratégicos (Pereira et al., 2010).

### 2.2.6 CAPIM-ELEFANTE CULTIVAR BRS CAPIAÇU

O capim-elefante cv. BRS Capiaçú, lançado pela Embrapa Gado de Leite em 2016, tem sido amplamente cultivado no Brasil devido a sua tolerância ao estresse hídrico, resistência ao tombamento, facilidade para a colheita mecânica, ausência de joçal (pelos) e touceiras eretas e densas, que podem atingir até 5 m de altura (Pereira et al., 2016). A planta apresenta folhas verdes, largas, compridas e com nervura central branca, sendo considerada uma fonte de suplementação volumosa barata para o uso em sistemas de produção de leite ou carne bovina.

Em relação à produtividade, Pereira et al. (2017) constataram que em regiões de clima tropical a produção anual do BRS Capiaçú atingiu 49,9 t MS/ha/ano, o que é 33% superior ao rendimento de outras cultivares desse mesmo gênero, como Cameroon e Mineiro, de média de 33,3 t MS/ha/ano.

Ainda, apresenta qualidade nutricional moderada (Tabela 5), podendo chegar a 5,3 - 6,5% de PB e 46% de nutrientes digestíveis totais aos 90 dias de plantio (Pereira et al., 2016; Leal et al., 2020). Embora esses valores sejam inferiores aos observados em forrageiras energéticas como milho e sorgo, são compatíveis com o uso na alimentação de ruminantes, especialmente em sistemas que priorizam o custo-benefício e a produção de volumoso em larga escala, principalmente como silagem, desde que manejado corretamente para evitar perdas nutricionais associadas à maturação e à alta umidade.

Tabela 5 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú colhidas aos 90 e 110 dias após o plantio.

Idade de corte	Composição, % MS <sup>1</sup>					
	MS	PB	FDN	LIG	NDT	pH
90 dias	18,0	5,3	72,2	7,6	46,8	3,9
110 dias	20,4	5,1	73,8	9,0	45,4	3,8

<sup>1</sup>MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; FDN – Fibra em detergente neutro; LIG – Lignina; NDT – Nutrientes digestíveis totais; pH - Potencial hidrogeniônico.

Fonte: adaptado de Pereira et al. (2016).

Essa cultivar também possui como característica o maior teor de CS (13,70 % aos 120 dias), além da perda de valor nutricional com o avançar da maturidade da planta ser menos significativa em comparação as demais cultivares de capim-elefante (Fernandes et al., 2021; Pereira et al., 2021). Visando usufruir desses benefícios para

a produção de silagem sem que haja grandes perdas de produção, recomenda-se realizar a colheita quando a planta estiver em seu estágio mais maduro, o qual geralmente ocorre com cerca de 3,5 m de altura e entre 90 a 110 dias após a rebrota (Bernardes et al., 2015). Nesse momento, a planta apresenta folhas predominantemente verdes e hastes menos fibrosas, os quais colaboram para o melhor valor nutritivo comentado anteriormente.

#### 2.2.7 CAPIM-ELEFANTE CULTIVAR KING GRASS

O King Grass é uma gramínea forrageira híbrida resultante do cruzamento entre *Cenchrus purpureus* e *Cenchrus americanus* (milheto), desenvolvido pelo Taiwan Livestock Research Institute (TLRI) na década de 1980. O objetivo do seu desenvolvimento foi reunir o alto potencial produtivo do capim-elefante com a rusticidade e tolerância à seca do milheto, originando uma planta vigorosa e de rápido crescimento, adaptada a diferentes condições edafoclimáticas (Acevedo & Peñalosa, 2021). É amplamente cultivado em países como Colômbia, Venezuela, México e alguns países da África e América Central, com usos que incluem corte para fornecimento *in natura*, pastejo rotacionado, produção de silagem e, mais recentemente, produção de bioenergia, especialmente etanol, devido ao seu elevado acúmulo de açúcares solúveis e alta biomassa (Cardona et al., 2016).

A planta possui folhas longas (30 a 70 cm), hábito de crescimento ereto, podendo atingir até 4 metros de altura, e inflorescência do tipo panícula digitada com espiguetas densas e alongadas, que se assemelham a espigas cilíndricas. A planta se adapta bem a altitudes de até 2.200 metros e prefere temperaturas entre 18 a 30 °C, desenvolvendo-se tanto em solos ácidos quanto neutros. Apresenta boa tolerância à seca e à umidade excessiva, mas para expressar todo seu potencial produtivo exige adubação adequada (Acevedo & Peñalosa, 2021). Sua produtividade pode ultrapassar 40 t MS/ha/ano, com possibilidade de realizar de 5 a 8 cortes por ano, dependendo das condições de manejo (Botero-Londoño et al., 2021)

Em relação à composição bromatológica, caracteriza-se por apresentar cerca de 13% de MS, 7 a 10% de PB, 1,41% de EE, 73,78% de FDN, 46,53% de FDA e digestibilidade entre 50 a 60% da MS (Dormond et al., 2011). A composição bromatológica do King Grass varia conforme a idade de corte, com tendência de redução dos teores de proteína bruta e digestibilidade da matéria seca, acompanhada pelo aumento dos teores de lignina. Esses aspectos refletem a maior maturidade da

planta, o que pode comprometer sua qualidade nutricional. De acordo com Ordaz et al. (2018), aos 90 dias a planta inteira apresenta 8,1% de proteína bruta e 49% de digestibilidade da MS, valores que caem progressivamente até 5,6% e 42%, respectivamente, aos 180 dias. Paralelamente, o teor de lignina aumenta de 6,0% para 8,5% nesse mesmo intervalo, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. King grass colhidas em diferentes idades de corte.

Idade de corte	Composição, MS% <sup>1</sup>		
	PB	DMS	Lignina
90 dias	8,1	49,0	6,0
120 dias	7,0	47,5	7,0
150 dias	6,0	45,0	8,0
180 dias	5,6	42,0	8,5

MS- Matéria seca; PB- Proteína bruta; DMS – Digestibilidade da matéria seca  
 Fonte: Adaptado de Ordaz et al. (2018)

Segundo Chacón e Vargas (2009), aos 60 dias a planta apresenta 9,56% de proteína bruta, com redução gradual para 8,70% e 8,42% aos 75 e 90 dias, respectivamente, indicando queda na qualidade com o avanço do estágio vegetativo. Já Araya e Boschini (2005) recomendam o corte aos 70 dias após a rebrota como o ponto de equilíbrio ideal entre produtividade e valor nutritivo, quando o teor de proteína pode variar entre 12 a 15%. Esses dados reforçam a importância do manejo criterioso da idade de colheita para garantir o máximo aproveitamento do potencial nutricional da forrageira.

### 2.3 SILAGENS MISTAS

Sabendo-se que a melhora na alimentação pode aumentar o desempenho animal, mas que a suplementação com alimentos concentrados eleva os custos de produção em um setor competitivo, recomenda-se o uso de práticas que permitam otimizar a utilização de volumosos de qualidade, verdes ou conservados. Porém, é raro encontrar uma cultura que exclusivamente atenda as exigências nutricionais e fermentativas para uma boa silagem. Assim, a utilização de silagens mistas, ou seja, a combinação de duas ou mais culturas, torna-se uma alternativa de grande interesse e viabilidade econômica, principalmente para pequenos produtores.

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE SILAGENS MISTAS

A junção de diferentes forragens no processo de ensilagem tem como principal objetivo unir as características desejáveis das plantas envolvidas visando diminuir as perdas no processo fermentativo, incrementar o valor nutricional e aumentar a estabilidade aeróbica. Ao conseguir a combinação ideal, tem-se um alimento de qualidade, permitindo assim que haja maior expressão do potencial produtivo dos animais (Soares, 2021).

Em geral, as plantas mais utilizadas para a confecção de silagens mistas são as gramíneas e leguminosas. As leguminosas apresentam maior teor de proteína do que as gramíneas, assim há um incremento proteico. Contudo, silagens exclusivas de leguminosas não são recomendadas devido ao fato de que essas plantas não possuem características consideradas ideais ao processo como, baixo teor de carboidratos solúveis e MS, alta capacidade tamponante e baixa população epifítica de BAL (Arcanjo et al., 2016). Ademais, podem ainda ter um alto conteúdo de ácido butírico e nitrogênio amoniacal, os quais potencialmente inibem o consumo pelos animais (McDonald, 1991).

Dentre alguns parâmetros utilizados para a avaliação da qualidade de silagens estão o conteúdo de MS, concentração de ácidos graxos voláteis (AGV), pH, teor de nitrogênio amoniacal, micotoxinas, populações microbianas e propriedades organolépticas (Kung et al., 2018). Buscando-se maximizar determinadas características, como o teor de MS e sua recuperação, em detrimento da redução/eliminação de outras, como, por exemplo, nitrogênio amoniacal e micotoxinas, é onde as forragens se complementam para gerar um bom alimento.

Dávila-Hidalgo et al. (2016) avaliaram a composição bromatológica da silagem de *Sorghum bicolor* e *T. diversifolia* nas proporções 75:25, 50:50 e 25:75, respectivamente. Os resultados indicaram que, à medida que a proporção de *T. diversifolia* na mistura aumentava, elevou-se a quantidade de proteína bruta (11,94; 13,26 e 15,48%, respectivamente).

### 2.3.2 SILAGEM DE CAPIM-ELEFANTE (BRS CAPIAÇU E KING GRASS) E *TITHONIA DIVERSIFOLIA*

A ensilagem de *Tithonia* surge como alternativa potencial para reduzir os custos de produção através da menor necessidade de defensivos e adubos químicos para a implantação e condução da cultura em relação a culturas tradicionalmente utilizadas

no processo. Também é possível se beneficiar do alto teor de PB dessa planta para reduzir a proporção de concentrado nas dietas e, conseqüentemente, barateá-las. A associação desses dois fatores tem como objetivo não apenas proporcionar segurança alimentar aos animais, mas elevar a qualidade das dietas e tornar a atividade pecuária mais competitiva, especialmente para pequenos produtores que, em geral, não possuem um planejamento forrageiro eficaz ou dispõem de recursos financeiros para tal.

Contudo, o teor de MS da *Tithonia* (15%) é muito inferior ao mínimo de 28% recomendado por Jobim et al. (2007). Por isso, a alta umidade pode propiciar o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como clostrídios e outras bactérias patogênicas, causando a deterioração da massa ensilada (McDonald, 1991). Para contornar esse impasse, técnicas e tecnologias como o uso de aditivos, sequestrantes de umidade, emurhecimento e o uso de forragens complementares são algumas alternativas.

A combinação de culturas como capim-elefante e *T. diversifolia* é uma estratégia promissora para dietas de ruminantes, especialmente em áreas com recursos forrageiros limitados devido às condições edafoclimáticas. Ambas as plantas possuem características agrônômicas viáveis para a produção de silagens, como alta produtividade e resistência à seca, além de nutricionalmente se complementarem - a *Tithonia* com alto teor proteico (9 a 25%) e o BRS Capiapu com maior quantidade de CS (> 2,2%).

Esse efeito também foi observado por Morales et al. (2016), (Tabela 7) que constataram que maiores proporções de *T. diversifolia* em silagens de capim-elefante proporcionaram incremento proteico de 56,43%, o que reforça o potencial dessa planta de contribuir com o valor nutricional da silagem, especialmente em sistemas de produção de ruminantes que buscam alternativas mais econômicas e proteicas.

Holguín et al. (2018), estudando a ensilabilidade de *T. diversifolia* exclusiva ou em conjunto com o capim-elefante cv. Rei, chegaram a duas conclusões: (i) a ensilabilidade de *T. diversifolia* pode ser melhorada pela inoculação de BAL e; (ii) o capim-elefante melhora a ensilabilidade da *T. diversifolia*.

Tabela 7 - Composição bromatológica de silagens mistas de *Tithonia diversifolia* com *Cenchrus purpureus* encontrada em artigos científicos publicados entre (2014 – 2024).

Composição <sup>1</sup>	Variáveis (%) <sup>2</sup>				Idade de corte (dias) <sup>3</sup>	Referência
	MS	PB	FDN	FDA		
40%TD + 60% CP	31,70	10,82	62,79	-	40 e 80	Morales et al. (2016)
40 % TD + 60% CP	28,90	16,86	50,76	-		
33% TD + 67% CP	30,0	7,20	69,10	52,15	60 e 75	Holguin et al. (2020)
67% TD + 33% CP	27,20	12,73	50,02	41,77	60 e 90	González et al. (2021)
33% TD + 67% CP	22,56	6,88	54,79	48,95		

<sup>1</sup>TD – *Tithonia diversifolia*; CP - *Cenchrus purpureus*. <sup>2</sup>MS – Matéria seca; PB – Proteína bruta; FDN – Fibra insolúvel em detergente neutro; FDA – Fibra insolúvel em detergente ácido. <sup>3</sup>Idade de corte da *T. diversifolia* e *C. purpureus*, respectivamente.

Embora o trabalho de Holguín et al. (2018) tenha contribuído significativamente para o entendimento sobre o assunto, nenhuma pesquisa envolvendo o capim-elefante cv. BRS Capiaçú em conjunto com a *T. diversifolia* foi feita no Brasil e, considerando essa ser a principal cultivar de *C. purpureus* utilizada para esse fim em nosso país, era necessário entender até que ponto se pode replicar conclusões externas às condições brasileiras.

## 1. REFERÊNCIAS

- ABIEC. 2023. Beef Report 2023, Capítulo 04, A Pecuária do Brasil. <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023-capitulo-04/> (Acessado em 13 de janeiro 2025).
- Acevedo, J. J., & Peñalosa, J. (2021). Evaluación de la digestibilidad in vivo de tres dietas diferentes en ovinos de la Universidad de los Llanos (Meta, Colombia). *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 12(2), 60-73.
- Ajao, A. A., & Moteetee, A. N. (2017). *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray.(Asteraceae: Heliantheae), an invasive plant of significant ethnopharmacological importance: A review. *South African Journal of Botany*, 113, 396-403.
- Akinola, J. O., Larbi, A., Farinu, G. O., & Odunsi, A. A. (2000). Seed treatment methods and duration effects on germination of wild sunflower. *Experimental Agriculture*, 36(1), 63-69.
- Andrade, S. J. T. D., & Melotti, L. (2004). Efeito de alguns tratamentos sobre a qualidade da silagem de capim-elefante cultivar Napier (*Pennisetum purpureum*, Schum). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 41, 409-415.

- Angulo-Arizala, J., Nemocón-Cobos, A. N. A., Posada-Ochoa, S. L., & Mahecha-Ledesma, L. (2022). Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas Holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 20(1), 27-40.
- Araya M. M., Boschini F. C. (2005). Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica, *Agronomía Mesoamericana* 16(1): 37-43.
- Arcanjo, A. H. M., de Avila Soares, N., Oliveira, A. R., Pereira, K. A., & Anésio, A. H. C. (2016). Silagem de leguminosas: revisão de literatura. *Nutritime*. 13 (3).
- Archimède, H., Eugène, M., Magdeleine, C. M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D. P., ... & Doreau, M. (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 59-64.
- Bedoya-Mejía, O., Posada Arias, S., Millán-Cardona, L., & David Ruales, C. A. (2017). Effect of *Tithonia diversifolia* silage on milk composition in dairy sheeps and the relationship with nutritional status. 93-102.
- Beleze, J. R. F., Zeoula, L. M., Cecato, U., Dian, P. H. M., Martins, E. N., & Falcão, A. J. D. S. (2003). Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação: 1. Produtividade, características morfológicas e correlações. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 529-537.
- Berchielli, T. T., Messana, J. D., & Canesin, R. C. (2012). Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13, 954-968.
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological reviews*, 70(2), 567-590.
- Bernardes, T. F.; Schmidt, P.; Daniel, J. L. P; Figueira J. L. (2015). An overview of silage production and utilization in Brazil. In: International Silage Conference, Piracicaba. Proceedings... Piracicaba: ESALQ, 2015. 623 p.
- Betancourt, J. A., Núñez, L. A., & Castaño, G. A. (2017). Suministro de ensilaje de *Tithonia diversifolia* sólo o mezclado con afrecho de yuca en la dieta de pollos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(2), 203-213.
- Botero-Londoño, J. M., Celis-Celis, E. M., & Botero-Londoño, M. A. (2021). Nutritional quality, nutrient uptake and biomass production of *Pennisetum purpureum* cv. King grass. *Scientific Reports*, 11(1), 13799. doi: 10.1038/s41598-021-93301-w
- Borém, A.; Galvão, J.C.C.; Pimentel, M. A. (2017). Milho: do plantio à colheita. 2. Ed. Atual. E ampli. – Viçosa (MG): Ed. UFV.
- Bueno, M. E. C., & Issakowicz, J. (2024). Estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes: uma revisão. *Desenvolvimento rural sustentável: novas perspectivas*, 1, 66-86.

- Caballero-Gómez, A., Martínez-Zubiaur, R. O., Hernández-Chavez, M. B., & Navarro-Boulandier, M. (2016). Characterization of the yield and quality of five accessions of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. *Pastos y Forrajes*, 39(2).
- Cardona, E., Rios, J., Peña, J., Peñuela, M., e Rios, L. (2016). King grass: Um material muito promissor para a produção de etanol de segunda geração em países tropicais. *Biomass Bioenergy* 95, 206–213.
- Costa, R., Éder-Silva, E., de Moura, B. R., de Sousa, E. D., Vieira, E. M., Nascimento, T. S. S., & de Lima, F. H. S. (2020). Bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na ensilagem do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) com ou sem inoculante bacteriano. *Revista Acta Kariri-Pesquisa e Desenvolvimento*, 2(1).
- Chacón-Hernández, P. A., & Vargas-Rodríguez, C. F. (2009). Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. king grass a tres edades de rebrote. *Agronomía mesoamericana*, 399-408.
- Chagas-Paula, D. A., Oliveira, R. B., Rocha, B. A., & Da Costa, F. B. (2012). Ethnobotany, chemistry, and biological activities of the genus *Tithonia* (Asteraceae). *Chemistry & Biodiversity*, 9(2), 210-235.
- Crespo, G., Ruiz, T. E., & Álvarez, J. (2011). Efecto del abono verde de *Tithonia* (*T. diversifolia*) en el establecimiento y producción de forraje de *P. purpureum* vc. Cuba CT-169 y en algunas propiedades del suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 79-82.
- Czerkawski, J. W., & Breckenridge, G. (1977). Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*, 38(3), 371–384.
- Dávila-Hidalgo, A., Lepe-Lopez, M., Polanco, E., Saavedra, C., & Guerra-Centeno, D. (2016). Determinación del valor nutricional y evaluación sensorial del ensilado de *Sorghum vulgare* y *Tithonia diversifolia*. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(10), 1-11.
- Daniel, J. L. P., Bernardes, T. F., Jobim, C. C., Schmidt, P., & Nussio, L. G. (2019). Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and forage Science*, 74(2), 188-200.
- Da Silva, R. C., Mauro, E., Silva, J., Pinto, G. G., Fernandes, A., Araújo, G., ... & Marte, D. (2022). Silagens mistas de capim elefante e sorgo forrageiro. *Archivos de zootecnia*, 71(276), 224-232.
- Dormond, H., Rojas, A., Boschini, C., Mora, G., & Sibaja, G. (2011). Evaluación preliminar de la cáscara de banana maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto king grass (*Pennisetum purpureum*). (Nota técnica). *InterSedes*, 12(23).
- Dutra, A. R., Queiroz, A. C. D., Thiébaud, J. T. L., Dutra, L. G., Wascheck, R. D. C., & Moreira, P. C. (2004). Efeitos dos níveis de fibra e de fontes de proteínas sobre a concentração do nitrogênio amoniacal e pH ruminal em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 714-722.

Figueiredo, M. Teixeira, A., de Souza, J. B. (2019). Silagem de capim-elefante na alimentação animal. Incaper. Documentos, 262.

Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruiz, T., Torres, V., ... & Sarduy, L. Noda, A. C., (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 33-37.

Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl: A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393-403.

Getachew, G., Blummel, M., Makkar, H. P. S. S., Becker, K., Blümmel, M., Makkar, H. P. S. S., & Becker, K. (1998). In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 72(3– 4), 261–281.

Goes, R. H. D. T., Silva, L. H. X. D., & Souza, K. A. D. (2013). Alimentos e alimentação animal. Coleção Cadernos Acadêmicos.

González, M. A. H., Mogollón, O. L. M., Saavedra, Y. M. G., Castaño, V. A. H., & Mora-Delgado, J. (2020). In vitro methane production from silages based on *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia* in different proportions. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 43, e51322.

Gualberto, R., Júnior, O. F. S., Costa, N. R., Braccialli, C. D., & Gaion, L. A. (2011). Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray. *Nucleus*, 8(1), 1-16.

Hill, J., McSweeney, C., Wright, A. D. G., Bishop-Hurley, G., & Kalantar-zadeh, K. (2016). Measuring Methane Production from Ruminants. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 26–35.

Holguín, V., Huertas, A., Fandiño, C., & Mora-Delgado, J. (2018). Consumo voluntario y ganancia de peso en corderos alimentados con ensilaje de *Cenchrus purpureus* Schum y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 181-192.

Holguín, V. A., Cuchillo-Hilario, M., Mazabel, J., Quintero, S., & Mora-Delgado, J. (2020). Efecto de la mezcla ensilada de *Pennisetum purpureum* y *Tithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal in vitro y su emisión de metano en el sistema RUSITEC. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 19-37.

Holguín, V. A., Cuchillo, M., & Mora-Delgado, J. (2021). Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriquecidos con lactobacillus. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2).

Jackson, F. S., McNabb, W. C., Barry, T. N., Foo, Y. L., & Peters, J. S. (1996). The condensed tannin content of a range of subtropical and temperate forages and the

reactivity of condensed tannin with ribulose-1, 5-bis-phosphate carboxylase (rubisco) protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 72(4), 483-492.

Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119.

Kato, C. I. R. (1998). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. In *Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" Cali* (pp. 217-229).

Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J., (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.* 101, 4020–4033.

Lazo, J. A., Fraga, G. A., Santos, L. T., & Sampaio, R. A. (2015). Comportamiento productivo de *Tithonia diversifolia* en pastoreo con reposos diferentes en ambas épocas del año. *Development*, 27, 6.

Leal, D. B., Monção, F. P., Junior, V. R. R., Carvalho, C. D. C. S., Alencar, A. M. S., de Almeida Moura, M. M., ... & Rigueira, J. P. S. (2020). Correlações entre as características produtivas e nutricionais do capim-BRS capiaçu manejado na região semiárida. *Brazilian Journal of Development*.

Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejo, I. L., ... & Cubillas, N. (2012). Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y forrajes*, 35(3), 275-282.

Lusweti A., Wabuyele E., Ssegawa P. & Mauremootoo J. *Tithonia diversifolia* (Mexican Sunflower). In: Lusweti A, Wabuyele E, Ssegawa P. & Mauremootoo J. R. (2011). Invasive plants of East Africa (Kenya, Uganda and Tanzania), Lucid v. 3.5 key and fact sheets. National Museums of Kenya, Makerere University, Bioneteafrinet, Cabi & The University of Queensland.

Mahecha, L. I., Escobar, J. P., Suárez, J. F., & Restrepo, L. F. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*, 19(2), 1-6.

Mauricio, R. M., Ribeiro, R. S., Silveira, S. R., Silva, P. L., Calsavara, L., Pereira, L. G., & Paciullo, D. S. (2014). *Tithonia diversifolia* for ruminant nutrition. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2(1), 82-84.

McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S.J.E. (1991). The biochemistry of silage. 2nd ed. Marlow: Chalcombe Publications, 85 p.

Medina, M. G., García, D. E., González, M. E., Cova, L. J., & Moratinos, P. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia tropical*, 27(2), 121-134.

Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., & Schneider, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant

feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science*, 93(1), 217-222.

Miura, T., Nosaka, K., Ishii, H., & Ishida, T. (2005). Antidiabetic effect of Nitobegiku, the herb *Tithonia diversifolia*, in KK-Ay diabetic mice. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(11), 2152-2154.

Morales, A., Rodríguez, R., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S., & Sarduy, L. (2016). Evaluation of the VITAFERT inclusion in the nutritive value of *Tithonia diversifolia* and *Pennisetum purpureum* silages. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(4), 619-630.

Morgavi, D. P., Martin, C., Jouany, J. P., & Ranilla, M. J. (2012). Rumen protozoa and methanogenesis: Not a simple cause-effect relationship. *British Journal of Nutrition*, 107(3), 388–397.

Muoghalu, J. I., & Chuba, D. K. (2005). Seed germination and reproductive strategies of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray and *Tithonia rotundifolia* (PM) Blake. *Applied ecology and environmental research*, 3(1), 39-46.

Naranjo, J. F., & Cuartas, C. A. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 9-19.

Neumann, M., Mühlbach, P. R. F., Nörnberg, J. L., Restle, J., & Ost, P. R. (2007). Efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita de plantas de milho (*Zea mays* L.) para ensilagem na produção do novilho superprecoce. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 1614-1623.

Newbold, C. J., de la Fuente, G., Belanche, A., Ramos-Morales, E., & McEwan, N. R. (2015). The role of ciliate protozoa in the rumen. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 6, Issue NOV). Frontiers Research Foundation.

Nieves, D., Terán, O., Cruz, L., Mena, M., Gutiérrez, F., & Ly, J. (2011). Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(1), 309-314.

Nussio, L. G. (1991). Cultura de milho para produção de silagem de alto valor alimentício. *Simpósio sobre Nutrição de bovinos*, 4(1991), 59-168.

Odedire, J. A. & Oloidi, F. F. (2014). Feeding Wild Sunflower (*Tithonia Diversifolia* Hemsl., A. Gray) to West African Dwarf Goats as a Dry Season Forage Supplement. *World Journal of Agricultural Research*, 2(6), 280-284

Oliveira, S. G., & Berchielli, T. T. (2007). Potencialidades da utilização de taninos na conservação de forragens e nutrição de ruminantes-revisão.

Oliveira, R. L., Leão, A. G., Abreu, L. D., Teixeira, S., & Silva, T. M. (2013) Alimentos alternativos na dieta de ruminantes. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 15, n. 2, p. 141-160.

Ordaz- Contreras, R., Sosa, M, E. Mendoza, P.,S.I.; Améndola, M., R.D.; Reyes-C., S.; Ortega, J., E.; Joaquín, C., S.4; Hernández, G., A. (2018). Composición química del pasto king grass (*Pennisetum purpureum schumach*) a diferente intervalo de corte. *Agro Productividad*, 11(5), 134-139.

Owoyele, V. B., Wuraola, C. O., Soladoye, A. O., & Olaleye, S. B. (2004). Studies on the anti-inflammatory and analgesic properties of *Tithonia diversifolia* leaf extract. *Journal of ethnopharmacology*, 90(2-3), 317-321.

Pereira, A. V.; Auad, A. M.; Santos, A. M.B. dos; Mittelmann, A.; Gomide, C. A. de M.; Martins, C. E.; Paciullo, D. S. C.; Léo, F. J. S.; Oliveira, J. S.; et al. (2021). BRS Capiaçú e BRS Kurumi: cultivo e uso. Brasília, DF: Embrapa, 116 p.

Pereira, A. V., Ledo, F. D. S., Morenz, M. J. F., Leite, J. L. B., Brighenti, A. M., Martins, C. E., & Machado, J. C. (2016). BRS Capiaçú: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem.

Pereira, A.V, Léo, F. & Machado, J.C. (2017). BRS Kurumi e BRS Capiaçú- Novas cultivares de capim-elefante para pastejo e sistema cut-and-carry. *Melhoramento de Culturas e Biotecnologia Aplicada*, v. 17, p. 59-62.

Pereira, A. V.; Auad, A. M.; Ledo, F. J. S.; Barbosa, S. (2010). *Pennisetum purpureum*. In: FONSECA, D. M. da; MARTUSCELLO, J. A. (Org.). *Plantas Forrageiras*. Viçosa: Editora UFV. v. 1, p. 197-219.

Pereira, A. V., & Léo, F. J. S. (2008). Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. *Melhoramento de forrageiras tropicais*. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, 89-116.

Pérez, A., Montejó, I., Iglesias, J. M., López, O., Martín, G. J., García, D. E., ... & Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y forrajes*, 32(1), 1-1.

Pérez-Márquez, S., Ovani, V. S., Lima, P. D. M. T., Lana, Â. M. Q., Louvandini, H., Abdalla, A. L., & Maurício, R. M. (2023). *Tithonia diversifolia* improves in Vitro Rumen Microbial synthesis of Sheep diets without changes in total gas and methane production. *Agronomy*, 13(11), 2768.

Ramírez-Rivera, U., Sanginés-García, J. R., Escobedo-Mex, J. G., Cen-Chuc, F., Rivera-Lorca, J. A., & Lara-Lara, P. E. (2010). Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. *Agroforestry systems*, 80(2), 295-302.

Reis, M. M., Santos, L. D., Pegoraro, R. F., Colen, F., Rocha, L. M., & Ferreira, G. A. D. P. (2016). Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(11), 1008-1013.

Reis, M. M., Santos, L. D. T., Pegoraro, R. F., Santos, M. V., Colen, F., Montes, W. G., ... & Oliveira, F. G. (2018). Productive and nutritional aspects of *Tithonia diversifolia* fertilized with biofertilizer and irrigated. *Journal of Agricultural Science*. v.10, p.367-374.

RIBEIRO, Rafael Sandin (Mestrado). *Tithonia diversifolia* para alimentação de vacas em lactação. Universidade Federal de São João del-Rei, fevereiro de 2016.

Ribeiro, R. S., Terry, S. A., Sacramento, J. P., Silveira, S. R. E., Bento, C. B. P., da Silva, E. F., Mantovani, H. C., da Gama, M. A. S., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Maurício, R. M., Chaves, A. V., Gama, M. A. S. da, Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Maurício, R. M., & Chaves, A. V. (2016). *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. PLoS ONE, 11(12), e0165751.

Ribeiro, A. A., Pinedo, L. A., da Cunha Codognoto, L., Cavali, J., Porto, M. O., dos Santos, B. R. C., ... & Firmino, S. S. (2020). Comparison of methods to measure enteric methane emissions from ruminants: an integrative review. *Research, Society and Development*, 9(11), e8259118143-e8259118143.

Rivera, J., Chará, J., Arango, J., & Barahona, R. (2021). Effect of diferente genotypes of *Tithonia diversifolia* on fermentation of feed mixtures with *Urochloa brizantha* cv. Marandú. *Crop and Pasture Science*, 72(10), 850.

Rodríguez-Badilla, B., Alvarez-Brito, R., & López-Herrera, M. (2022). Inclusión de *Tithonia diversifolia* sobre la calidad de ensilajes de Cuba OM22 con la adición de *Musa* sp. *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 71-90.

Rodríguez-Oliva, M., Ojeda-García, F., Pozo-Pérez, Y., Rondón-Castillo, A. J., & Milián-Florido, G. (2022). Evaluación de dos inóculos microbianos como activadores de la fermentación en ensilajes de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*, 45.

Ruiz, T. E.; Febles, G. J.; Galindo, J. L.; Savón, L. L.; Chongo, B. B.; Torres, V.; Crespo, G. J. (2014). *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, v. 48, n. 1, p. 79-82.

Rutunga, V., Karanja, N. K., Gachene, C. K. K., & Palm, C. (1999). Biomass production and nutrient accumulation by *Tephrosia vogelii* (Hemsl.) A. Gray and *Tithonia diversifolia* Hook f. fallows during the six-month growth period at Maseno, Western Kenya. *Biotechnology Agronomy Social and Environment*, 3(4), 237–246.

Sao, N. V., N. T. Mui, & D. V. Binh. (2010). Biomass production of *Tithonia diversifolia* (Wild Sunflower), soil improvement on sloping land and use as high protein foliage for feeding goats. *Livestock Research for rural development*, 22(8).

Silva. S., A. M., da Silva, L. D., Santos, M. V., da Cruz, P. J. R., & Titon, M. (2018). Propagação vegetativa de *Tithonia diversifolia* com ácido indolbutírico. *Livestock Research for Rural Development*, 30(5), 90.

Silva L. D.; Pereira O. G.; Silva T. C.; Valadares Filho S. C.; Ribeiro K. G.; Santos S. A. (2018). Intake, apparent digestibility, rumen fermentation and nitrogen efficiency in sheep fed a tropical legume silage with or without concentrate. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. v.90, p.3.551-3.557.

Silva N. P. C, Veiga M. D. J. V, Machado VLL. (2012). Entomofauna visitante de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (Compositae) durante o seu período de floração. *Títulos não-correntes*, 13:1-2.

Shokalu, A. O., Ojo, A. O., E.-Adewoyin, D. T., Akintoye, H. A., & Idowu, A. A. (2009). Use of *Tithonia diversifolia* and Compost as Soil Amendments for Growth and Yield of *Celosia argentea*. In *I All Africa Horticultural Congress 911* p. 149-156.

SOARES, Maurício José Alves de Azevedo. Avaliação de silagem mistas de sorgo e palma forrageira. 2021.

Souza, M. N. S. (2017). Análise de crescimento, fisiologia e valor nutritivo de *Tithonia diversifolia*.

Stella, L. A., Peripolli, V., Prates, Ê. R., & Barcellos, J. O. J. (2016). Composição química das silagens de milho e sorgo com inclusão de planta inteira de soja. *Boletim de industria animal*. Nova Odessa. p. 73-79.

Tendonkeng, F., Fogang Zogang, B., Sawa, C., Boukila, B., & Pamo, E. T. (2014). Inclusion of *Tithonia diversifolia* in multinutrient blocks for WestAfrican dwarf goats fed *Brachiaria* straw. *Tropical animal health and production*, 46, 981-986.

Terry, S. A.; Ribeiro, R. S.; Freitas, D.S.; Pereira, L.G.; Tomich, T.; Maurício, R. M.; Chaves, A.V. (2016). Effects of *Tithonia diversifolia* on *in vitro* methane production and ruminal fermentation characteristics. *Animal Production Science*, v. 56, n. 3, p. 437-441.

Togun, V. A., Farinu, G. O., & Olabanji, R. O. (2006). Feeding graded levels of wild sunflower (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray) meal in replacement of maize at pre-pubertal age, negatively impacts on growth and morphometric characteristics of the genitalia of anak 2000 broiler cocks at their pubertal age. *World Appl. Sci. J*, 1(2), 115-121.

Varón, L. E. S., & Granados, J. E. (2012). Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades físicoquímicas del suelo. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 53-62.

Vinyard, J. R., & Faciola, A. P. (2022). Unraveling the pros and cons of various *in vitro* methodologies for ruminant nutrition: a review. *Translational Animal Science*, 6(4), txac130.

Zapata, A.; Silva, B. E. (2010). Reconversión ganadera y sistemas silvopastoriles en el Departamento de Risaralda y el Eje Cafetero de Colombia. CARDER, CIPAV. Cali, Colombia.p. 112.

Wambui, C. C., Abdulrazak, S. A., & Noordin, Q. (2006). The effect of supplementing urea treated maize stover with *Tithonia*, *Calliandra* and *Sesbania* to growing goats. *Livestock Research for Rural Development* v. 18, p. 5.

## 2. CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DE INDUTORES DE ENRAIZAMENTO E O TAMANHO DAS ESTACAS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray

### RESUMO

A *Tithonia diversifolia* é uma espécie arbustiva forrageira, caracterizada por apresentar alto rendimento, rápido crescimento e ampla versatilidade de uso. Contudo, são escassas as informações sobre estratégias eficientes na produção de mudas por propagação vegetativa utilizando indutores de enraizamento e tamanho de estacas. O objetivo foi avaliar os efeitos de indutores de enraizamento em relação ao tamanho de estacas para produção de mudas de *T. diversifolia* a pleno sol. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, (três enraizadores: água, extrato de babosa e enraizador comercial × três comprimentos de estacas: 20, 30 e 40 cm), com cinco repetições. O material vegetativo foi colhido em plantas matrizes de origem herbácea pertencentes ao campo experimental. As estacas foram plantadas em sacos de polietileno preto com capacidade para 3 dm<sup>3</sup> de substrato 1:1 (terra preta+areia). Após 30 dias foi avaliado o teor de clorofila e aos 60 e 90 dias foram analisados os aspectos morfológicos e fisiológicos e produção de massa seca das plantas. Aos 30 dias após o plantio, o uso do enraizador comercial promoveu aumento no teor de clorofila (+31,16%). Aos 60 dias o enraizador comercial promoveu maior comprimento de raiz (+29,95%), enquanto aos 90 dias o número de ramas e MS da planta inteira foram maiores para o tratamento controle. Verificou-se interação do tamanho de estacas x enraizador em ambas as avaliações para a variável matéria fresca da raiz. Conclui-se que o uso de estacas mais longas (40 cm) favorece o desenvolvimento da parte aérea, enquanto o uso de bioestimulantes, especialmente o enraizador comercial, contribui para o vigor do sistema radicular.

**Palavras-chave:** Ácido naftalenoacético, *Aloe vera* L., botão de ouro, estaquia, margaridão.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A *Tithonia diversifolia*, é uma planta arbustiva pertencente à família *Asteraceae*, nativa da América Central e amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais (Holguín et al., 2015). Também, conhecida como botão de ouro, é reconhecida por seu rápido crescimento, alta produção de biomassa e capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo, o que a torna uma planta de interesse tanto para recuperação de áreas degradadas quanto para utilização na alimentação animal (Zapata e Silva, 2010; Nieves et al., 2011; Hernández et al., 2024).

A propagação da *T. diversifolia* pode ocorrer de forma sexuada ou assexuada. No entanto, a dormência tegumentar limita o uso de sementes, tornando a propagação vegetativa a estratégia mais adotada. A estaquia permite a manutenção das características desejáveis da planta matriz, aumenta a taxa de enraizamento, uniformiza as mudas e possibilita a produção durante todo o ano (Reis et al., 2018). Fatores como o uso de enraizadores e o comprimento das estacas podem influenciar diretamente o sucesso da propagação.

Visando o melhor desenvolvimento e crescimento do sistema radicular, recomenda-se o uso de enraizadores durante o processo de propagação vegetativa (Binsfeld et al., 2019), os quais podem ser tanto naturais (*Aloe vera* L. Burm) quanto sintéticos (hormônios), aumentando a taxa de sucesso da estaquia. Estudos demonstram que o uso de indutores de crescimento, como o Ácido Alfa Naftalenacético (ANA), pode melhorar significativamente a capacidade de enraizamento de espécies que possuem raízes adventícias (Castrillón et al., 2008). Em contrapartida, a aplicação de extratos vegetais como a *Aloe vera* L. pode ser uma alternativa aos hormônios sintéticos, visto os seus possíveis benefícios ambientais e econômicos (Mohammed et al., 2024).

O tamanho da estaca também é um fator relevante, uma vez que estacas mais longas tendem a acumular maiores reservas de carboidratos, o que favorece a emissão de raízes e brotações (Pizzatto et al., 2011). No entanto, é necessário equilibrar esse benefício com o risco de maior perda de água por evapotranspiração, especialmente em ambientes com restrição hídrica (Hartmann et al., 2011). Assim, a adoção de estratégias que otimizem o enraizamento e o crescimento inicial das mudas é fundamental para viabilizar o uso da *T. diversifolia* em larga escala.

Diante desse contexto, levanta-se a hipótese de que a aplicação de enraizadores, associada ao uso de estacas de maior comprimento, favorece o desenvolvimento radicular, o crescimento inicial e o acúmulo de biomassa da espécie. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do uso de enraizadores e dos comprimentos de estacas na produção de mudas avaliando as características agrônômicas e a produção de massa seca de *T. diversifolia*.

## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTAÇÃO

O trabalho foi realizado na fazenda experimental Mário González Aranda (3°30'29" N e 76°18'45" W), a uma altitude de 1.000 m, na Universidade Nacional da Colômbia, Palmira, Colômbia. O clima é caracterizado por precipitação média anual de 1.000 mm, temperatura média de 24°C (Valdés e Ortiz, 2021). Na Figura 2 estão apresentados os dados meteorológicos coletados na Estação Meteorológica da fazenda experimental durante o período experimental, compreendido entre janeiro a abril de 2024.

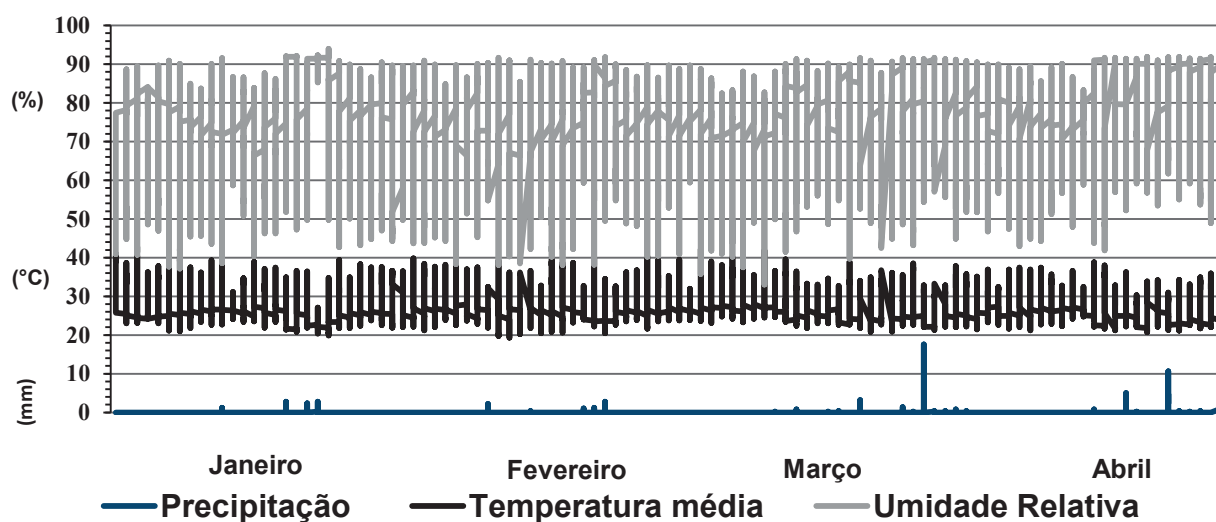


Figura 2 - Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média durante o período experimental.

### 4.2.2 TRATAMENTOS E DESENHO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3 × 3, com três tipos de enraizadores (água, babosa e enraizador comercial) e três comprimentos de estacas (20, 30 e 40 cm), totalizando nove

tratamentos. Os blocos foram formados considerando variações de sombra e luminosidade na área experimental, de modo a minimizar o efeito de microambientes sobre o desenvolvimento das plantas. Cada tratamento foi repetido cinco vezes, e cada unidade experimental consistiu em uma planta, totalizando 225 plantas. Os tratamentos utilizados estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Tratamentos avaliados com diferentes tipos de enraizadores e tamanhos de estacas de *Tithonia diversifolia*.

Tratamentos	Tamanho de estacas (cm)	Indutor de enraizamento
T1	10	Água
T2	20	
T3	30	
T4	10	Babosa
T5	20	
T6	30	
T7	10	Enraizador comercial (Hormonagro®)
T8	20	
T9	30	

#### 4.2.3 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS E PLANTIO

As estacas para a formação das mudas foram obtidas de plantas matrizes pertencentes ao campo experimental, retiradas de plantas com bons aspectos fitossanitários e nutricionais, com média de 17,93 mm de diâmetro. As estacas foram padronizadas nos tamanhos de 20, 30 e 40 cm de comprimento. Para a formação das estacas foram utilizados os seguintes cortes, na parte superior da estaca foi utilizado o corte em bisel, seguido de impermeabilização para evitar possíveis ataques de fungos, e na base o corte reto com o auxílio de uma tesoura de poda previamente higienizada, a fim de evitar possíveis contaminações. Posteriormente, as estacas cortadas foram emergidas em água para evitar possível desidratação das mesmas.

Para os tratamentos que continham o extrato de babosa (*Aloe vera* L.), foi escolhida uma planta vigorosa e madura onde realizou-se um corte longitudinal para expor o gel interno. Logo após as folhas foram maceradas e diluídas em 1L de água para cada cinco folhas de babosa e o extrato foi aplicado na base das estacas durante 1 minuto.

O enraizador comercial Hormonagro® utilizado neste estudo é um produto em pó à base de Ácido Alfa Naftalenacético (ANA), contendo 0,40% de ingrediente ativo e

99,60% de aditivos e componentes inertes. A aplicação foi realizada por meio da impregnação direta e leve da base das estacas (aproximadamente 2,5 cm) com o pó, sem diluição prévia da formulação.

Para o plantio foram utilizados sacos de polietileno preto (30x20 cm) com capacidade para 3 dm<sup>3</sup>, preenchidos com substrato composto de terra preta e areia, na proporção 1:1, após a aplicação dos fertilizantes, segundo a recomendação de adubação para a cultura (Programa de Pastos e Forragens da Universidade Nacional da Colômbia, *campus* Palmira). Para a adubação utilizou-se uma solução ultra diluída em 200 litros de água, composta de 0.760, 0.150 e 0.150 kg de N-P-K, respectivamente. A adubação foi aplicada em “drench” direto ao solo em cada saco de polietileno preto, sendo 300 mL por dia, depois da irrigação diária. O plantio foi realizado enterrando cerca de 1/3 da estaca na posição inclinada. A umidade do substrato foi mantida próxima da capacidade de campo, sendo feita a irrigação manual diariamente. Durante todo o período experimental foi realizado o monitoramento periódico de pragas e doenças com observações visuais de sintomas, e quando necessário foram aplicados produtos biológicos e antifúngicos. O controle de plantas invasoras foi realizado de forma manual, sempre que necessário.

#### 4.2.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

Logo após o plantio foi medido semanalmente (até os 56 dias) o número de brotações emergidas de cada muda e assim foi expresso o número médio de brotações de cada tratamento.

Aos 60 dias após o plantio as plantas foram submetidas a avaliações de taxa fotossintética, através de trocas gasosas: taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) foram determinadas por meio de um analisador de gás infravermelho IRGAS LC-pro ADC® em campo, de 8:00 às 11:00h; a área foliar total (IAF) foi estimada pela média de quatro leituras (uma acima e três abaixo do dossel), com o equipamento LI-3100C (LI-COR®, 1996) em cada unidade experimental e; índices de clorofila a e b, determinados através do clorofilômetro, modelo MC-100® (APOGEE®, 2015), realizados em folhas completamente expandidas no terço médio da planta, em bom estado fitossanitário.

Aos 60 e 90 de plantio (DAP) foram avaliadas as seguintes características para cada muda: altura da planta, medida do colo da planta até a gema apical; número de ramos e número de folhas por rama. Ao final do experimento (90 DPA) separou-se a

parte aérea (estacas e ramas) e a raiz para cada muda. Posteriormente determinou-se a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR) e comprimento da raiz (CR). Em seguida, os materiais foram acondicionados em sacos de papel com identificação de cada tratamento, levados para a secagem em estufa de circulação forçada a 65°C, durante três dias, para a determinação da massa seca das raízes (MSR), massa seca da planta inteira (MSPI) e massa seca da estaca (MSE).

### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 × 3, consistindo em nove tratamentos, com cinco repetições, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + E_j + B_k + (T \times E)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:  $Y_{ijk}$  = representa o valor observado na unidade experimental submetida ao tratamento  $i$ , enraizador  $j$  no bloco  $k$ ;  $\mu$  = média geral da variável dependente;  $T_i$  = corresponde ao efeito do  $i$ -ésimo tamanho de estaca ( $i=1, 2, 3$ );  $E_j$  = representa o efeito do  $j$ -ésimo tipo de enraizador ( $j= 1, 2, 3$ );  $B_k$  = representa o efeito do  $k$ -ésimo bloco ( $k= 1, 2, 3, 4, 5$ );  $(T \times E)_{ij}$  = representa o efeito da interação entre o tamanho da estaca e o tipo de enraizador;  $\varepsilon_{ijk}$  = é o erro experimental associado à unidade, assumindo-se que  $\varepsilon_{ijk}$ ,  $N(0, \sigma^2)$  ou seja, segue uma distribuição normal com média zero e variância constante.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de resíduos de Shapiro – Wilk ( $p>0,05$ ) e ao teste de homogeneidade de variâncias de O’neill e Mathews ( $p>0,05$ ). Atendidos os pressupostos, a existência de diferença entre os tratamentos foi estimada pela análise de variância conjunta (ANOVA) via teste F ( $p<0,05$ ) considerando o modelo fatorial 3 x 3. A diferença entre o efeito do enraizador foi investigada pelo Teste t ( $p>0,05$ ). As interações entre os efeitos simples foram analisadas pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o pacote ExpDes.pt do programa R (R Core Team, 2021).

## 4.4 RESULTADOS

### 4.4.1 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA 60 E 90 DIAS PÓS-PLANTIO

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados observados aos 60 dias pós-plantio das estacas submetidas aos tratamentos.

Tabela 9 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para avaliação agrônômica de mudas de *Tithonia diversifolia* sob enraizadores (T) e tamanhos de estacas (E) em 60 dias após plantio.

Variáveis <sup>1</sup>	Enraizador						Tamanho de estaca (cm)						Efeito <sup>2</sup>		
	Água	Babosa	Comercial	20	30	40	CV	E	T	E x T					
Altura, cm	97,87	88,27	95,43	93,13	96,09	92,33	18,16	0,290	0,817	0,366					
Nº de Ramas	4,27	5,49	4,33	3,40 <sup>b</sup>	4,33 <sup>b</sup>	6,36 <sup>a</sup>	31,58	0,052	0,000	0,395					
Folhas por rama	14,53	14,33	15,34	17,2 <sup>a</sup>	14,48 <sup>ab</sup>	12,53 <sup>b</sup>	22,33	0,674	0,001	0,340					
Folhas secas	8,60	8,73	10,44	10,80 <sup>a</sup>	8,33 <sup>b</sup>	8,64 <sup>ab</sup>	29,33	0,134	0,036	0,605					
MF PA, g	576,10	479,24	582,97	449,14	526,52	662,64	48,13	0,489	0,094	0,394					
MF estaca, g	110,50	97,98	111,77	86,34 <sup>b</sup>	97,83 <sup>b</sup>	136,08 <sup>a</sup>	36,94	0,576	0,004	0,287					
MF rama, g	428,49	347,33	421,05	319,58	394,41	482,89	54,88	0,539	0,140	0,466					
MF raiz, g	95,96	101,77	150,46	114,3	102,88	131,01	49,42	0,038	0,422	0,031					
CR, cm	25,46 <sup>ab</sup>	20,50 <sup>b</sup>	28,64 <sup>a</sup>	27,06	21,66	25,88	34,97	0,048	0,217	0,808					
MS PI, %	13,24	13,33	14,75	13,98	13,55	13,79	16,86	0,152	0,878	0,748					
MS estaca, %	106,58	104,71	100,82	107,92	101,18	103,01	11,7	0,427	0,306	0,952					
MS raiz, %	21,08	24,23	20,80	22,06	21,03	23,02	23,03	0,137	0,567	0,290					

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

<sup>1</sup>MF PI – massa fresca planta inteira; MF: massa fresca; CR – Comprimento da raiz; MSPI- Massa seca da planta inteira; MS- Massa seca.

<sup>2</sup>CV – Coeficiente de variação; E – Enraizador; T - Tamanho de estaca; E x T – Interação entre Enraizador e Tamanho da estaca.

O tamanho das estacas influenciou significativamente as variáveis número de ramos ( $P= 0,00002$ ), número de folhas por rama ( $P= 0,00198$ ), número de folhas secas ( $P= 0,03654$ ) e massa fresca da estaca ( $P= 0,00415$ ). As estacas com 40 cm apresentaram maior número de ramos (+64,76%) e massa fresca da estaca (+47,78%), contudo, apresentaram o menor número de folhas por rama (-27,15%) quando comparada aos demais tratamentos. Em relação à contagem de folhas secas, estacas com 20 cm apresentaram o maior valor (+ 29,65%) em comparação aos demais tratamentos.

A utilização de enraizadores influenciou apenas a variável comprimento da raiz (CR) ( $P= 0.04824$ ). Estacas que foram tratadas com enraizador comercial apresentaram o maior comprimento de raiz (+29,95%), seguido do tratamento água com valores intermediários.

Houve interação significativa entre enraizador e tamanho das estacas apenas para a variável massa fresca da raiz ( $P = 0,0318$ ) (Tabela 10). O maior valor foi observado na combinação do enraizador comercial com estacas de 20 cm, sendo 56,6% superior em relação à média dos demais tratamentos.

Tabela 10 - Desdobramento da interação Enraizador x Tamanho de estaca para a variável MF raiz (g).

Tamanho da estaca	Enraizador		
	Água	Babosa	Comercial
20 cm	16,62 <sup>Ab</sup>	36,66 <sup>Aab</sup>	65,52 <sup>Aa</sup>
30 cm	42,46 <sup>Aa</sup>	22,34 <sup>Aa</sup>	38,08 <sup>Aa</sup>
40 cm	41,39 <sup>Aa</sup>	42,77 <sup>Aa</sup>	46,85 <sup>Aa</sup>

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade; <sup>1</sup>MF: massa fresca.

Os resultados observados aos 90 dias pós-plantio das estacas submetidas aos diferentes tratamentos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para avaliação agrônômica de mudas de *Tithonia diversifolia* sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) 90 dias após plantio.

Variáveis <sup>1</sup>	Enraizador					Tamanho de estaca (cm)					Efeito		
	Água	Babosa	Comercial	20	30	40	CV	E	T	E x T			
Altura, cm	86,33	89,33	106,63	93,86	97,20	91,23	29,81	0,117	0,844	0,141			
Nº de Ramas	16,08	11,72	13,36	10,28 <sup>b</sup>	14,64 <sup>b</sup>	16,24 <sup>a</sup>	36,36	0,038	0,002	0,001			
Folhas por rama	58,52	49,84	50	56,72	53,96	47,68	24,43	0,255	0,557	0,028			
Folhas secas	8,12	6,04	8,25	7,05	9,44	5,92	53,24	0,247	0,060	0,288			
MFPI, g	689,62	631,77	857,80	699,16	703,85	776,18	53,82	0,272	0,833	0,161			
MF estaca, g	90,35	97,63	117,36	89,74	101,78	113,82	45,58	0,271	0,375	0,115			
MF rama, g	551,94	490,90	681,64	554,03	556,52	613,93	56,82	0,277	0,851	0,190			
MF raiz, g	160,47	132,43	152,97	147,72	143,11	155,04	51,21	0,237	0,559	0,014			
CR, cm	25,41	28,45	24,93	31,20	26,34	21,25	54,36	0,766	0,178	0,133			
MSPI, %	12,23 <sup>a</sup>	9,98 <sup>b</sup>	11,81 <sup>a</sup>	11,38	11,62	11,01	15,54	0,003	0,639	0,918			
MS estaca, %	25,03	24,78	25,24	24,20 <sup>b</sup>	27,01 <sup>a</sup>	23,83 <sup>b</sup>	14,52	0,942	0,044	0,187			
MS raiz, %	19,00	20,80	19,96	21,86 <sup>a</sup>	20,15 <sup>ab</sup>	17,75 <sup>b</sup>	15,09	0,271	0,002	0,531			

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

<sup>1</sup>MF PI – massa fresca planta inteira; MF: massa fresca; CR – Comprimento da raiz; MSPI- Massa seca da planta inteira; MS- Massa seca.

<sup>2</sup>CV – Coeficiente de variação; E – Enraizador; T - Tamanho de estaca; E x T – Interação entre Enraizador e Tamanho da estaca.

O tamanho das estacas influenciou significativamente as variáveis número de ramas ( $P= 0.00225$ ), MS da estaca ( $P= 0.04409$ ) e massa seca da raiz ( $P= 0.00286$ ). As estacas com 40 cm apresentaram maior número de ramas (+30,33%), menor teor de MS da raiz (-20,36%) e menor valor de MS da estaca (-11,77%) quando comparadas aos demais tratamentos.

A utilização de enraizadores influenciou as variáveis número de ramas ( $P= 0.03807$ ) e MS planta inteira ( $P= 0.00311$ ). O uso apenas da água proporcionou maior contagem de número de ramas (+32,20%) em relação ao tratamento com babosa, que apresentou a menor contagem. Para a variável MS da planta inteira, os tratamentos água e enraizador comercial proporcionaram os maiores resultados, sendo em média 20,44% maior que o tratamento contendo babosa.

Houve interação significativa entre enraizador e tamanho das estacas para as variáveis número de ramas ( $P = 0.00178$ ), folhas por ramas ( $P= 0.02804$ ) e MF raiz ( $P= 0.01467$ ) (Tabela 12). O maior valor foi observado na combinação do enraizador comercial com estacas de 20 cm, sendo 56,6% superior em relação à média dos demais tratamentos.

Tabela 12 - Desdobramento da interação Enraizador x Tamanho de estaca para as variáveis ramas, folhas por rama e MF raiz.

<i>Número de Ramas</i>	Enraizador		
	Água	Babosa	Comercial
Tamanho da estaca			
20 cm	3,12 <sup>Ba</sup>	3,6 <sup>Aa</sup>	3,6 <sup>Ba</sup>
30 cm	4,56 <sup>B</sup>	4,88 <sup>A</sup>	4,56 <sup>AB</sup>
40 cm	8,2 <sup>A</sup>	2,64 <sup>A</sup>	6,6 <sup>A</sup>
<i>Número de Folhas por rama</i>			
Tamanho da estaca			
20 cm	15,2 <sup>Aa</sup>	20,00 <sup>Aa</sup>	20,20 <sup>Aa</sup>
30 cm	21,20 <sup>Aa</sup>	15,36 <sup>Aa</sup>	18,0 <sup>Aa</sup>
40 cm	20,60 <sup>Aa</sup>	13,68 <sup>Aa</sup>	16,2 <sup>Aa</sup>
<i>Massa fresca raiz (g)</i>			
Tamanho da estaca			
20 cm	34,83 <sup>Aa</sup>	74,50 <sup>Aa</sup>	56,83 <sup>Aa</sup>
30 cm	56,80 <sup>Aa</sup>	32,02 <sup>Ba</sup>	47,83 <sup>Aa</sup>
40 cm	50,34 <sup>Aab</sup>	23,18 <sup>Bb</sup>	71,74 <sup>Aa</sup>

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Para o número de ramas, o uso de enraizador comercial, aliado às estacas de 40 cm resultou em um incremento de aproximadamente 83% em relação às

estacas de 20 cm no mesmo tratamento. De forma semelhante, nas estacas tratadas apenas com água, o número de ramas foi mais que o dobro quando comparado às estacas de 20 cm. Por outro lado, o tratamento com babosa, combinado com estaca de 40 cm apresentou a menor média, representando uma redução de cerca de 46% em relação ao comprimento de 30 cm no mesmo enraizador.

O número de folhas por rama apresentou comportamento mais estável, sem variações expressivas entre os tamanhos de estaca dentro de cada enraizador. Contudo, o uso de água, associado às estacas de 30 e 40 cm, proporcionou valores até 38% superiores quando comparado ao enraizador com babosa no mesmo tamanho.

Para a variável massa fresca da raiz, o enraizador comercial associado às estacas de 40 cm, promoveu um aumento de aproximadamente 110% em relação ao menor valor observado (babosa + 40 cm). De maneira geral, a combinação de enraizador comercial, independentemente do tamanho da estaca, resultou em médias de massa fresca de raiz entre 43% e 75% superiores deão enraizador com babosa.

Na Figura 3 estão apresentadas as contagens de brotações ao longo de 56 DAP. Verificou-se que, independentemente do tratamento utilizado, houve um crescimento progressivo no número médio de brotações até aproximadamente 28 dias após o plantio, seguido de uma estabilização no crescimento de brotações.

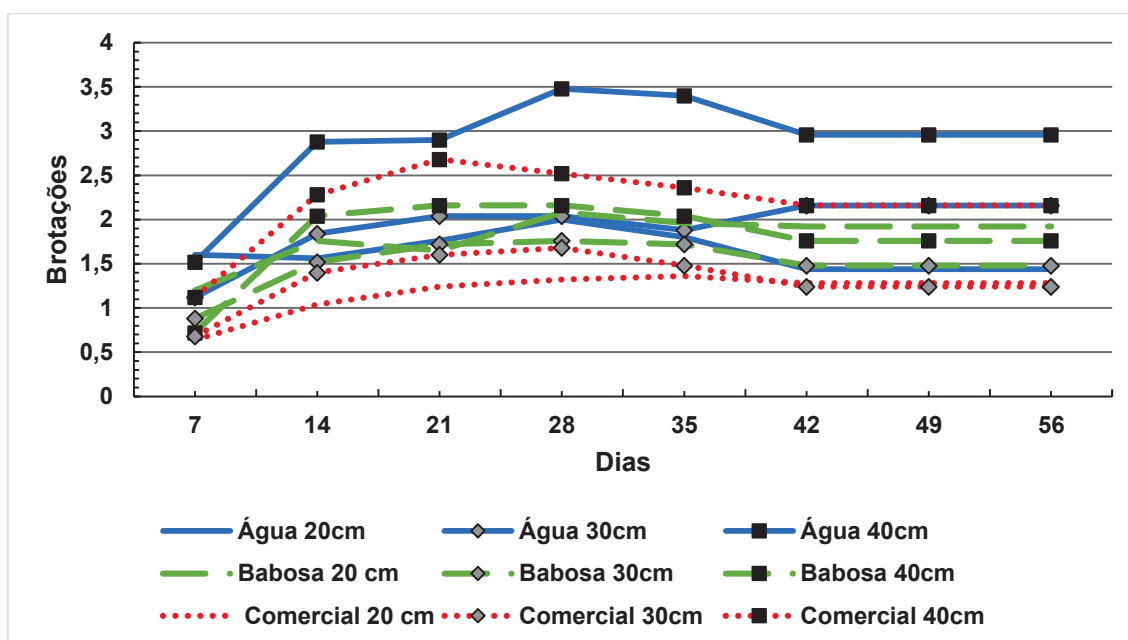


Figura 3 - Número de brotações semanal dos tratamentos avaliados até os 56 DAP.

Os tratamentos com água e tamanho de estaca de 40 cm apresentaram as maiores contagens de brotações. Esse tratamento apresentou crescimento contínuo até os 28 dias, atingindo um pico médio de 3,5 brotações por planta. O tratamento contendo hormônio comercial proporcionou um pico médio de aproximadamente 2,6 brotações, contudo, houve uma queda a partir dos 21 dias de avaliação para as estacas de 40 cm. Já o tratamento com babosa demonstrou desempenho intermediário entre o uso de água e hormônio. As estacas com babosa atingiram um máximo de 2,3 brotações, com um decréscimo aos 35 dias pós-plantio. Os demais tratamentos contendo tamanhos de estacas de 20 e 30 cm apresentaram valores intermediários de contagem, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos hormônio – 20 e 30 cm (média = 1,24 brotações) aos 56 dias pós-plantio.

#### 4.4.2 TEOR DE CLOROFILA E ÁREA FOLIAR

O teor de clorofila e a área foliar das plantas aos 30 e 60 dias após o plantio estão apresentadas na Tabela 13. As variáveis foram semelhantes para a avaliação de 60 dias ( $P > 0,05$ ). No entanto, aos 30 dias, o tipo de enraizador influenciou significativamente o teor de clorofila ( $P = 0,00150$ ), resultando em um aumento de 31,16% em comparação à média dos demais tratamentos.

Tabela 13 - Média dos valores para clorofila e área foliar de estacas de *Tithonia diversifolia* sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) aos 30 e 60 dias pós plantio.

Avaliação	Enraizador			Tamanho de estaca (cm)			Efeito			
	Água	Babosa	Comercial	20	30	40	CV <sup>1</sup>	E	T	E x T
30 dias	32,04 <sup>b</sup>	36,11 <sup>b</sup>	44,70 <sup>a</sup>	35,11	38,96	38,77	23,48	0,001	0,414	0,652
60 dias	49,54	46,04	47,79	50,67	47,00	45,69	21,91	0,660	0,411	0,786
60 dias	148,27	113,66	130,52	146,93	134,89	110,63	31,08	0,081	0,058	0,129

Teor de clorofila,  $\mu\text{g mL}^{-1}$

Área foliar,  $\text{cm}^2$

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

<sup>1</sup>CV – Coeficiente de variação

#### 4.4.3 TAXA FOTOSSINTÉTICA

Não houve diferença significativa entre os tratamentos, como apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de variância e estimativa do coeficiente de variação experimental (CV) para Concentração interna de CO<sub>2</sub>, Transpiração, Condutividade estomática e Fotossíntese de estacas de *Tithonia diversifolia* sob enraizadores (E) e tamanhos de estacas (T) 60 dias pós plantio.

Avaliação	Enraizador					Tamanho de estaca (cm)					Efeito		
	Água	Babosa	Comercial	20	30	40	CV <sup>1</sup>	E	T	E x T	T	E	T
Concentração interna de CO <sub>2</sub> , (µmol mol <sup>-1</sup> )	403,51	399,00	395,71	408,35	383,28	406,57	15,13	0,771	0,112	0,905	0,112	0,771	0,112
Transpiração, (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	2,84	2,98	3,01	2,96	2,95	2,94	23,71	0,439	0,999	0,489	0,999	0,439	0,999
Condutividade estomática, (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0,31	0,36	0,36	0,38	0,33	0,32	59,86	0,516	0,395	0,694	0,395	0,516	0,395
Fotossíntese, (µmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	15,75	16,05	16,71	15,55	16,84	16,11	38,47	0,746	0,554	0,930	0,554	0,746	0,554

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

<sup>1</sup>CV – Coeficiente de variação

## 4.5 DISCUSSÃO

### 4.5.1 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA 60 E 90 DIAS PÓS-PLANTIO

O enraizador comercial destacou-se como o tratamento mais eficiente, promovendo maior desenvolvimento das plantas, com destaque para o número de ramos e massa fresca da raiz, especialmente quando associado a estacas de 40 cm. Independentemente do comprimento das estacas, seu uso resultou em desempenho superior em comparação aos demais enraizadores. Em contraste, o uso de *Aloe vera* (babosa), sobretudo em estacas mais longas, apresentou os menores resultados em termos de promoção do crescimento. Embora o número de folhas por ramo tenha variado pouco entre os tratamentos, o enraizador comercial também apresentou desempenho satisfatório nessa variável, reforçando sua eficácia.

O tamanho das estacas foi determinante para as características da parte aérea nas duas avaliações, especialmente para o número de ramos, que foi significativamente superior nas estacas de 40 cm. Esse comportamento é coerente com a literatura (Hartmann et al., 2011; Pizzatto et al., 2011), que destaca que estacas de maior tamanho acumulam maiores quantidades de reservas endógenas, como carboidratos, proteínas e água, favorecendo o desenvolvimento de brotações, emissão de ramos e desenvolvimento vegetativo. Além disso, pode ser explicado por uma alocação preferencial de assimilados para a parte aérea, priorizando órgãos com maior demanda metabólica (Poorter et al., 2012), especialmente nas fases iniciais de regeneração, quando o sistema radicular ainda está em formação.

Na avaliação de 60 dias, as estacas de 40 cm apresentaram aumento de até 64,76% no número de ramos enquanto na de 90 dias esse incremento foi de 30,33% em comparação aos demais tamanhos de estacas, indicando que o efeito do tamanho é mais expressivo nas fases iniciais. Contudo, na avaliação de 90 dias, foi observado que estacas maiores apresentaram menores teores de massa seca de estaca e de raiz. Esse resultado sugere que, embora o maior comprimento favoreça o crescimento da parte aérea, há maior consumo das reservas estruturais, o que pode limitar o acúmulo de biomassa nas raízes e nos tecidos remanescentes da estaca. Tal comportamento está associado à priorização do crescimento aéreo em detrimento da alocação de recursos para

o sistema radicular (Hartmann et al., 2011), evidenciando o "trade-off" entre os dois compartimentos, conforme descrito por Poorter et al. (2012).

O uso de enraizadores apresentou efeitos distintos entre as variáveis e os períodos de avaliação. Na avaliação de 60 dias, o enraizador comercial foi eficaz para o comprimento da raiz, evidenciando seu papel na indução do desenvolvimento radicular, visto a presença do ácido naftalenoacético (ANA), caracterizado por ser uma auxina sintética capaz de desempenhar papel crítico na formação da raiz adventícia, aumentando a iniciação do primórdio da raiz e o crescimento via divisão celular, além de promover a hidrólise do amido e mobilizar açúcares e nutrientes para a base da estaca (Mercier, 2004; Fogaça e Fett-Neto 2005).

Por outro lado, aos 90 dias, o tipo de enraizador influenciou significativamente o número de ramas e a massa seca da planta inteira. O tratamento controle (água) apresentou os maiores valores para o número de ramas, enquanto o uso de babosa resultou nos menores. Embora a babosa seja frequentemente relatada como bioestimulante natural visto que possui uma variedade de compostos bioativos como: polissacarídeos, giberelinas, auxinas e outras fitohormonas que promovem o enraizamento (Abbas et al., 2016), esta pode não fornecer estímulos suficientes para a brotação aérea dessa espécie, o que foi visualizado pela Figura 3, onde o tratamento obteve resultados intermediários para a contagem de brotações.

A massa fresca da raiz foi influenciada pela interação entre enraizador e tamanho da estaca em ambas as avaliações, com destaque para o tratamento com enraizador comercial e estacas de 40 cm, que resultou em um incremento de até 110% em relação ao menor valor observado (babosa + 40 cm). Esses resultados reforçam que, para o desenvolvimento do sistema radicular, o enraizador hormonal pode ser mais determinante do que o tamanho da estaca, como também observado na avaliação de 60 dias, onde o enraizador comercial, combinado às estacas de 20 cm, promoveu aumento de 56,6% na massa fresca da raiz.

Segundo Ouyang et al. (2015), a eficácia do enraizamento por estacas maiores pode ser explicada por diferentes fatores. Primeiramente pela concentração de auxinas endógenas e outros compostos indutores do enraizamento, que é naturalmente menor em estacas menores, o que reduz a

taxa de formação de raízes ou até inibe completamente o processo (Palanisamy e Kumar, 1997). Além disso, como já comentado anteriormente, apresentam maior acúmulo de carboidratos, os quais são essenciais para o crescimento radicular, sendo mobilizados a partir de folhas e caules (Tchoundjeu e Leakey, 1996; Philipson, 1988).

Feliciano et al. (2017), ao avaliarem o efeito de diferentes concentrações de ANA (0, 2000, 4000, 6000 e 8000 mg L<sup>-1</sup>) e tamanho de estacas (10, 12 e 15 cm) no enraizamento de estacas herbáceas de azaleia, observaram que o aumento do tamanho das estacas resultou em maior perda de água, o que comprometeu a formação de raízes. Além disso, não foi verificado efeito significativo da aplicação de ANA sobre o enraizamento. De acordo com Fachinello et al. (2005), embora estacas herbáceas apresentem maior potencial de enraizamento, são também mais suscetíveis à desidratação e à morte, o que reforça a necessidade de manejo adequado das condições hídricas durante a propagação vegetativa desse material.

Em relação ao número de ramas, a interação foi favorável quando se utilizou o enraizador comercial com estacas de 40 cm. De forma semelhante, nas estacas tratadas apenas com água, o número de ramas foi mais que o dobro em comparação às estacas menores, reforçando o papel do tamanho das estacas pela presença de um maior número de gemas laterais que, conseqüentemente, é um fator chave para a emissão de brotos, como também visualizado na Figura 3, especialmente quando associado a condições adequadas de umidade e disponibilidade de reservas internas.

O número de folhas por rama também foi favorecido nas combinações de água com estacas de 30 e 40 cm. O mesmo foi relatado por Silva et al. (2011), que ao avaliaram o uso de ANA em estacas de *Brosimum gaudichaudii* Tréc., pertencente à família das moráceas, verificaram que o tratamento controle, sem adição de hormônio, obteve maior número médio de folhas (média=2,54) em comparação ao tratamento contendo ANA (média= 1,59). Contudo, Pessoa (2010), ao avaliar estacas de baraúna, encontrou menores contagens de brotações para o tratamento água (0,010%) e maiores números de folhas (1,157%) em relação aos tratamentos contendo extrato de babosa e ANA (concentração de 0,40%), que obtiveram valores iguais para brotações e número de folhas (0,082 e 0,010 %, respectivamente).

Contudo, vale destacar que o tratamento com estacas de 40 cm, associado ao enraizador comercial, embora tenha promovido o maior número de ramas, apresentou o menor número de folhas por rama. Esse comportamento está alinhado com a observação de Huang et al. (2016), que destacam que, no nível da planta como um todo, parte significativa da biomassa estrutural pode ser alocada à formação de caules e ramos, sem necessariamente resultar em aumento proporcional na massa ou no número de folhas. Isso ocorre porque o volume total dos órgãos de suporte não cresce na mesma proporção da massa foliar que sustentam, refletindo um padrão de alocação desproporcional, que se repete tanto na escala da planta inteira quanto no nível individual dos ramos.

#### 4.5.2 TEOR DE CLOROFILA, ÁREA FOLIAR E TAXA FOTOSINTÉTICA

A influência significativa do enraizador comercial sobre o acúmulo de clorofila, observada aos 30 dias após o plantio, evidencia sua atuação fisiológica precoce sobre o metabolismo primário das plantas. O uso de enraizadores à base de reguladores de crescimento, como auxinas e citocininas, não apenas induz a formação de raízes adventícias, como também estimula processos de diferenciação celular e ativa vias biossintéticas envolvidas na produção de pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas a e b (Taiz et al., 2017; Dobránszki & Mendler-Drienyovszki, 2014).

Reis et al. (2018), ao avaliarem plantas de *T. diversifolia*, observaram que o teor de clorofila total aumentou com o incremento das doses de biofertilizante bovino. Nas plantas adubadas com doses superiores a  $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , foi registrado o teor máximo de clorofila total ( $46,79 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) aos 80 dias após o plantio. Já Ribeiro (2018), observou valores de teor de clorofila total de  $44 \mu\text{g mL}^{-1}$ , na dose de  $153,50 \text{ Kg ha}^{-1}$  de N após 60 dias de plantio de *T. diversifolia*, próximos dos valores observados no presente estudo.

Esse efeito pode estar relacionado a uma reorganização hormonal precoce nos tecidos meristemáticos, promovendo a retomada do crescimento e a reativação do aparato fotossintético. As auxinas desempenham papel fundamental na regulação do crescimento vegetal, atuando em diversos processos, como tropismos, enraizamento, diferenciação do tecido vascular e

expansão da lâmina foliar, com respostas qualitativamente distintas em cada órgão (Mattsson et al., 2003).

Contudo, esse estímulo à expansão foliar não foi evidenciado no presente estudo, uma vez que os tratamentos não diferiram significativamente quanto à área foliar. É possível que as respostas fisiológicas induzidas pelas auxinas tenham se concentrado na fase inicial do desenvolvimento radicular, sem repercussões estruturais marcantes na morfogênese das folhas.

Em relação à fotossíntese, embora esta seja considerada uma das características mais importantes para o potencial genético de produtividade das plantas, o seu desempenho está geralmente associado à área foliar total disponível para interceptação de luz (Long et al., 2015). No entanto, os tratamentos avaliados não apresentaram diferenças quanto à taxa fotossintética, apesar das variações no número de ramas e folhas por rama. Tal resultado está próximo dos resultados encontrados por Ribeiro (2018), que encontrou valores máximos de 42,36  $\mu\text{mol}$  de  $\text{CO}_2$  aos 60 dias após adubação nitrogenada.

Segundo Taiz et al. (2017), auxinas sintéticas, como o ácido naftalenoacético (ANA), podem promover alterações fisiológicas relacionadas à fotossíntese, crescimento e eficiência no uso da água. Tais efeitos são geralmente mediados pela indução da formação de raízes adventícias e reorganização hormonal nos tecidos meristemáticos, o que pode contribuir indiretamente para o desempenho fisiológico da parte aérea (Liu et al., 2013).

O enraizador comercial, possivelmente mais estável e com maior concentração de substâncias hormonais sintéticas, apresentou desempenho superior ao da babosa (*Aloe vera* L.). Embora esta contenha compostos bioativos, sua composição química apresenta variabilidade significativa, influenciada por fatores como origem botânica, condições de cultivo, tempo de extração e modo de preparo (Añibarro-Ortega et al., 2019). Essa heterogeneidade pode comprometer a consistência dos efeitos fisiológicos, especialmente em fases iniciais do desenvolvimento vegetal, como o enraizamento de estacas herbáceas.

#### **4.6 CONCLUSÃO**

A utilização de estacas com maiores tamanhos é uma estratégia eficiente para o desenvolvimento da parte aérea, enquanto a utilização de bioestimulantes, especialmente o enraizador composto por ácido naftalenoacético, é fundamental para otimizar o desenvolvimento do sistema radicular da planta *Tithonia diversifolia*.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Nacional da Colômbia, sede Palmira, pela infraestrutura para a realização da pesquisa.

## 4.7 REFERÊNCIAS

- Abbas, S., Zagloul, M., El-Ghadban, E., Abd El-Kareem, S., & Waly, A. (2016). Effect of foliar application with Aloe leaf extract (ale) on vegetative growth, oil percentage and anatomical leaf structure of sage (*Salvia officinalis* L.) plant under sand soil conditions. *Hortscience Journal of Suez Canal University*, 5(1), 9–14. <https://doi.org/10.21608/hjsc.2016.6401>
- Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Barros, L., Ćirić, A., Silva, S. P., Coelho, E., ... & Ferreira, I. C. (2019). Compositional features and bioactive properties of Aloe vera leaf (fillet, mucilage, and rind) and flower. *Antioxidants*, 8(10), 444. <https://doi.org/10.3390/antiox8100444>
- Binsfeld, M. C., Schwab, N. T., Both, V., Buffon, P. A., Führ, A., Rampazzo, J. C., & Dal Picio, M. (2019). Enraizadores alternativos na propagação vegetativa de pitaya. *MAGISTRA*, 30, 251-258. <https://www3.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4267>
- Castrillón C.J., Carvajal E., Ligarreto G., Stanislav M. (2008). El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos. *Agronomía Colombiana*. 26 (1),16-2. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012099652008000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012099652008000100003&script=sci_arttext)
- Dardon-Zunun, J. D., Aguirre-Medina, J. F., Iracheta-Donjuan, L., Solís-Guzmán, B. F., & Mina-Briones, F. O. (2015). Evaluación de diferentes concentraciones de auxinas en el enraizamiento de estacas de *Jatropha curcas* L. *Agro Productividad*, 8(2). <https://ageconsearch.umn.edu/record/352361/?v=pdf>
- Dobránszki, J., & Mendler-Drienyovszki, N. (2014). Cytokinin-induced changes in the chlorophyll content and fluorescence of in vitro apple leaves. *Journal of plant physiology*, 171(16), 1472-1478. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.015>

Fachinello, J. C., Hoffmann, A., & Nachtigal, J. C. (2005). Propagação de plantas frutíferas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 221 p.

Fogaca, CM, & Fett-Neto, AG (2005). Papel da auxina e seus moduladores no enraizamento adventício de espécies de eucalipto com diferentes características de recalcitrância. *Plant Growth Regulation* , 45 , 1-10. DOI: 10.1007/s10725-004-6547-7

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices* (8th ed.). Boston: Prentice Hall. 915 p.

Hernández, A. X., Ortiz, G. L. O., Fernández, R. Y., Vivas, A. W. F., Abdalla, A. A., Simón Pérez, M. S., & Ledea, R. J. L. (2024). Nutritional value and in vitro dry matter degradability in Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.5211>

Holguin, V. C., Grisalez, S. O., Navia, A. V., & Delgado, J. R. M. (2015). Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(2), 57-72. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995>

Huang, Y., Lechowicz, MJ, Price, CA, Li, L., Wang

, Y., & Zhou, D. (2016). A base subjacente para a compensação entre tamanho da folha e intensidade de brotação. *Ecologia Funcional*, 30 (2), 199-205. [https://doi.org/10.1111/1365\\_2435.12491](https://doi.org/10.1111/1365_2435.12491)

Mattsson, J., Ckurshumova, W., & Berleth, T. (2003). Auxin signaling in Arabidopsis leaf vascular development. *Plant Physiology*, 131 (3), 1327–1339. <https://doi.org/10.1104/pp.013623>

Mercier, H. Auxinas. In: KERBAUY, G.B. (ed.) *Fisiologia Vegetal*. São Paulo: Editora Guanabara Koogan S.A. p. 217-249. 2004.

Mohammed, A. L., Kaddir, N. K. N., & Moro, A. (2024). Rooting and shooting of *Coffea canephora* stem cuttings in response to clonal chamber conditions and rooting hormone in Ghana. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 40(2), 138–150. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v40i2.597>

Nieves, D., Terán, O., Cruz, L., Mena, M., Gutiérrez, F., & Ly, J. (2011). Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 309–314. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915703030.pdf>

OuYang, F., Wang, J., & Li, Y. (2015). Efeitos do tamanho da estaca e do tratamento hormonal exógeno no enraizamento de estacas de brotos em abeto-

da-noruega [*Picea abies* (L.) Karst.]. *New Forests* , 46 , 91-105. DOI 10.1007/s11056-014-9449-1

Palanisamy, K., & Kumar, P. (1997). Effect of position, size of cuttings and environmental factors on adventitious rooting in neem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Forest Ecology and management*, 98(3), 277-280. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00116-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00116-3)

Pizzatto, M., Wagner Júnior, A., Luckmann, D., Pirola, K., Cassol, D. A., & Mazaro, S. M. (2011). Influência do uso de AIB, época de coleta e tamanho de estaca na propagação vegetativa de hibisco por estaquia. *Revista Ceres*, 58, 487-492. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400013>

Pessoa, M. (2024). Uso de enraizadores sintéticos e natural para propagação da espécie Baraúna.

Philipson, J. J. (1988). Root growth in Sitka spruce and Douglas-fir transplants: dependence on the shoot and stored carbohydrates. *Tree Physiology*, 4(2), 101-108. <https://doi.org/10.1093/treephys/4.2.101>

Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New phytologist*, 193(1), 30-50. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x

Reis, M. M., Santos, L. D. T., Pegoraro, R. F., Santos, M. V., Colen, F., Montes, W. G., ... & Oliveira, F. G. (2018). Productive and nutritional aspects of *Tithonia diversifolia* fertilized with biofertilizer and irrigated. *Journal of Agricultural Science*. v.10, p.367-374. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p367>

Ribeiro, É. E. A. (2018). Eficiência da uréia com inibidor de urease no cultivo irrigado da forrageira *Tithonia diversifolia*.

Silva, D. B., Vieira, R. F., Cordeiro, M. C. T., Pereira, E. B. C., & Pereira, A. V. (2011). Propagação vegetativa de *Brosimum gaudichaudii* Tréc.(mama-cadela) por estacas de raízes. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 13, 151-156. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000200005>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.

Tchoundjeu, Z., & Leakey, R. R. B. (1996). Vegetative propagation of African mahogany: effects of auxin, node position, leaf area and cutting length. *New Forests*, 11, 125-136. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00033408>

Valdés-Restrepo, M. P., & Ortiz-Grisales, S. (2021). Calidad de forraje y almidón en 10 clones de batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1580>

Zapata, A.; Silva, B. E. (2010). Reconversión ganadera y sistemas silvopastoriles en el Departamento de Risaralda y el Eje Cafetero de Colombia. CARDER,

CIPAV. Cali, Colombia.p. 112. [https://cipav.org.co/sdm\\_downloads/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos/](https://cipav.org.co/sdm_downloads/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos/)

## 5 CAPÍTULO III - INCLUSÃO DE *Tithonia diversifolia* EM SILAGENS DE CAPIM ELEFANTE CV. BRS CAPIAÇU

### RESUMO

O uso de silagens mistas representa uma alternativa para equilibrar valor nutricional, especialmente os teores de fibra e proteína, além da alta produtividade. Contudo, espécies tropicais como o capim-elefante apresentam limitações quanto à umidade e ao teor proteico, o que pode comprometer a qualidade da silagem. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da inclusão de *Tithonia diversifolia* no processo de ensilagem do capim-elefante cv. BRS Capiaçú, com e sem emurchecimento, sobre as perdas fermentativas, microbiologia, estabilidade aeróbica e composição químico-bromatológica das silagens. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos foram: (i) Capiaçú fresco (CF); (ii) Capiaçú fresco + 10% de *T. diversifolia* (CF + 10% TD); (iii) Capiaçú fresco + 20% de *T. diversifolia* (CF + 20% TD); (iv) Capiaçú emurchecido (CE); (v) Capiaçú emurchecido + 10% de *T. diversifolia* (CE + 10% TD) e; (vi) Capiaçú emurchecido + 20% de *T. diversifolia* (CE + 20% TD). As forragens foram picadas em tamanho teórico de partícula de 10 mm, pesadas individualmente, ensiladas e mantidas por 117 dias em temperatura ambiente ( $\pm 24,5^{\circ}\text{C}$ ). As variáveis foram submetidas à análise de variância e, quando constatadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A inclusão de *Tithonia* aumentou a matéria seca (até 17,51%), a proteína bruta (até 8,41%), o teor de ácido acético (até 3,58%) e a estabilidade aeróbia (média de 116 horas), com destaque para as silagens de Capiaçú emurchecido contendo 20% de *Tithonia*, que se mantiveram estáveis por 240 horas. Entretanto, os tratamentos com *Tithonia* combinada ao Capiaçú emurchecido resultaram em perdas totais de matéria seca (PTMS) de quase 30%. A população de bactérias ácido lácticas foi superior na silagem fresca com 20% de *Tithonia*, devido a maior disponibilidade de substrato. A inclusão de 20% de *Tithonia diversifolia* no processo de ensilagem do capim BRS Capiaçú emurchecido é indicada para obtenção de uma silagem mais proteica e estável, apesar do aumento nas perdas fermentativas.

**Palavras-chave:** ensilagem, estabilidade aeróbia, margaridão, silagem mista.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A intensificação da produção animal exige estratégias nutricionais que garantam o suprimento de volumoso de qualidade ao longo do ano, minimizando os impactos da sazonalidade na oferta de forragem e otimizando o desempenho zootécnico dos animais. Nesse contexto, a ensilagem tem se consolidado como uma das principais alternativas para a conservação de forragens, permitindo a manutenção dos nutrientes da planta e proporcionando maior segurança sobre o planejamento alimentar. Além disso, essa técnica possibilita a utilização de diferentes espécies, reduzindo a competição com culturas destinadas à alimentação humana e conferindo maior sustentabilidade e competitividade ao setor agropecuário (Okoye et al., 2023).

Dentre as gramíneas tropicais utilizadas na ensilagem, o capim-elefante (*Cenchrus purpureum Schum.*) cv. BRS Capiapu se destaca devido ao seu elevado potencial produtivo. Sua produtividade pode ultrapassar 50 t de matéria seca por hectare ao ano, superando gramíneas tradicionalmente ensiladas, como o milho e o sorgo (Pereira et al., 2016). Além disso, é uma espécie tolerante ao estresse hídrico, o que reduz os riscos de escassez de forragem e proporciona oferta de alimento aos animais durante períodos críticos. Entretanto, apresentam, em geral, baixo teor de proteína bruta (PB), o que pode comprometer o desempenho animal e exigir suplementação proteica.

Por sua vez, a *Tithonia diversifolia* (TD), conhecida como botão de ouro ou margaridão, é uma espécie arbustiva que vem ganhando notoriedade na alimentação animal na Colômbia devido ao seu elevado teor proteico (entre 9 a 29,8%), potencial produtivo (55 t MS/ha/ano) e baixa exigência de insumos agrícolas (Tendonkeng et al., 2014). Essa espécie é altamente adaptável a diferentes condições edafoclimáticas, além de apresentar elevada eficiência na absorção de nutrientes, os quais a torna uma opção interessante para sistemas de produção de baixo custo (Medina et al., 2009; Zapata e Silva, 2010). Ainda, a TD possui metabólitos secundários que contribuem para a redução da produção de metano entérico em ruminantes, resultando em impactos positivos tanto na eficiência alimentar quanto na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Ribeiro et al., 2016; Vega-Granados et al., 2019).

A inclusão de espécies proteicas no processo de ensilagem pode melhorar a composição nutricional e reduzir a necessidade de suplementação

externa de proteínas na dieta. No entanto, também pode afetar diretamente os processos fermentativos e microbiológicos, influenciando a estabilidade aeróbia e as perdas durante o processo de conservação, visto a alta umidade (> 70%) e a capacidade tamponante (Holguin et al., 2017).

Esse estudo tem como hipótese a melhora da composição nutricional, redução de perdas fermentativas e favorecimento da microbiota de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú aditivadas com TD, conseqüentemente, aumentando a estabilidade aeróbia e a recuperação de nutrientes, caso o capim Capiaçú fosse ensilado exclusivamente. Sendo assim, objetivou-se avaliar a composição química-bromatológica, perdas fermentativas, microbiologia e estabilidade aeróbia de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú emurchecido ou não, com diferentes níveis de inclusão de TD.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL**

A pesquisa foi conduzida no Setor de Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena (latitude 21° 13' 33" S, longitude 43° 46' 25" W e altitude 1164 m). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical de altitude, com temperaturas médias entre 14,4°C a 17,5°C durante o outono (quando o estudo ocorreu) e o inverno. Na Figura 4 são apresentados os dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Barbacena - MG durante as etapas de ensilagem, compreendida entre os dias 04 a 05 de abril de 2022.

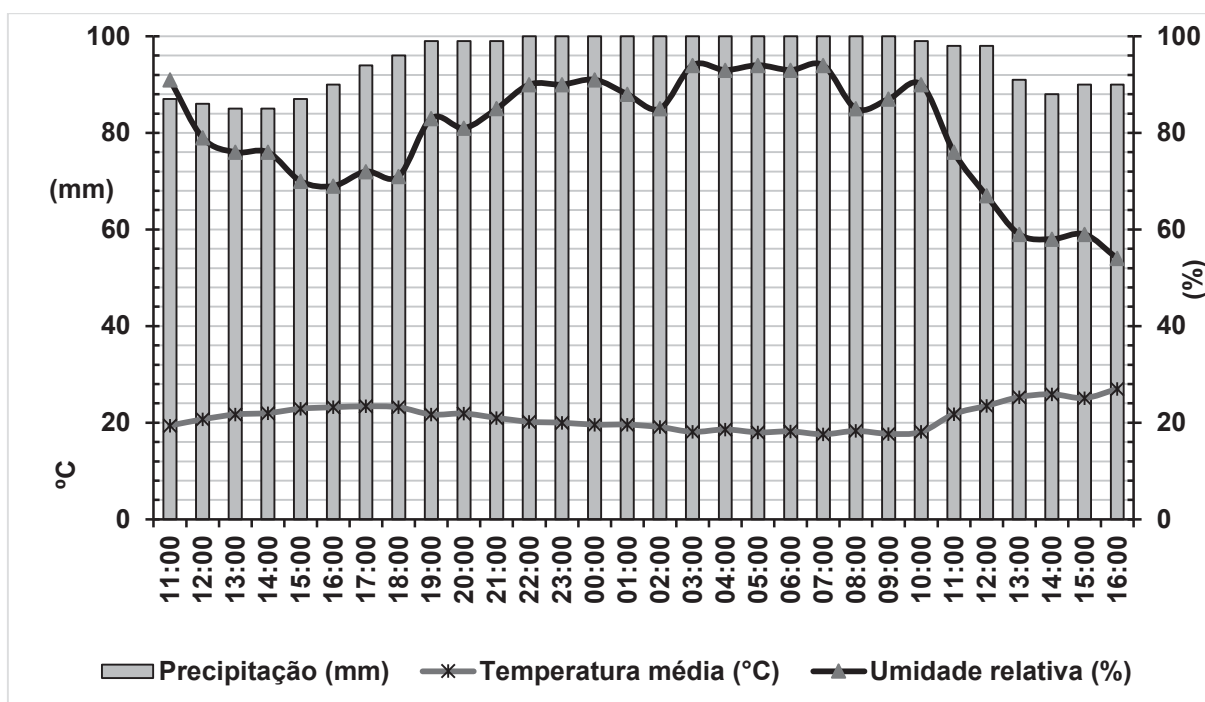


Figura 4 - Precipitação, umidade relativa do ar e temperatura média durante as etapas de ensilagem. Fonte: adaptado de INMET (2022).

### 5.2.2 CONDUÇÃO E COLHEITA DAS CULTURAS

A TD foi estabelecida há 5 anos em uma área de 100 m<sup>2</sup>, com espaçamento de 0,75 x 0,75 m, e conduzida através de tratos manuais. O capim elefante cv. BRS Capiçu também foi cultivado há 5 anos e conduzido através de tratos manuais, porém em uma área de cerca de 5000 m<sup>2</sup>. Em ambas as culturas foi realizado corte de uniformização a 30 cm do solo a fim de padronizar o tempo de rebrota para a ensilagem (80 e 50 dias para o Capiçu e a *Tithonia*, respectivamente). Não foi usado qualquer defensivo agrícola durante todo o ciclo das culturas.

O Capiçu a ser emurchecido foi colhido de forma manual um dia antes da *Tithonia* e do capim que seriam ensilados frescos. O material foi distribuído em lonas plásticas, em galpão coberto, em camadas de 15 cm de altura, sem compactação, revolvido em intervalos de três horas e nivelado manualmente com o auxílio de ancinho e garfo até atingir 20% MS, o que ocorreu após 24 horas de secagem.

No dia seguinte, a planta inteira de TD e o Capiçu fresco foram colhidos com cerca de 15 e 17% de MS, respectivamente. Os teores de MS foram monitorados pelo método do forno de micro-ondas (Oliveira et al., 2015) e ambas as culturas

foram colhidas a aproximadamente 10 cm de altura do solo. Todos os materiais foram processados em máquina forrageira estacionária (JF 60 MAXXIUM, JF máquinas, Guararapes, SP, Brasil) regulada para corte em tamanho médio de partícula de 10 mm.

### 5.2.3 TRATAMENTOS E ENSILAGEM

Em piso coberto por lonas previamente higienizadas, os materiais foram divididos em seis pilhas de 35 kg cada, correspondentes aos seis tratamentos, sendo eles: (i) Capiapu fresco (CF); (ii) Capiapu fresco + 10% de *T. diversifolia* (CF + 10% TD); (iii) Capiapu fresco + 20% de *T. diversifolia* (CF + 20% TD); (iv) Capiapu emurchecido (CE); (v) Capiapu emurchecido + 10% de *T. diversifolia* (CE + 10% TD) e; (vi) Capiapu emurchecido + 20% de *T. diversifolia* (CE + 20% TD). As proporções de inclusão foram determinadas com base na matéria natural (MN). A caracterização das plantas ensiladas está descrita na Tabela 15.

Tabela 15 - Características químicas, bromatológicas e microbiológicas do capim-elefante cv. BRS Capiapu e *Tithonia diversifolia* no momento da ensilagem.

Variáveis <sup>1</sup>	Forragens		
	Capiapu fresco	Capiapu emurchecido	<i>Tithonia diversifolia</i>
pH	6,1	6,0	6,0
MS, %	17,06	20,20	15,00
MM, % MS	14,21	13,26	12,91
FDN, % MS	73,74	81,55	78,47
FDA, % MS	49,99	53,18	54,57
PB, % MS	9,01	8,27	15,21
EE, % MS	2,27	1,57	2,00
Lignina, % MS	9,83	7,75	12,86
BAL, log UFC/g	6,08	6,11	-
Leveduras, log UFC/g	5,60	5,80	-
Fungos filamentosos, log UFC/g	5,18	5,20	-

<sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; MS – matéria seca corrigida; MM – matéria mineral; FDN – fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; PB – proteína bruta; EE – extrato etéreo; BAL – bactérias ácido-láticas; UFC – unidades formadoras de colônia.

Os silos experimentais consistiram em baldes plásticos de 10 L, cada qual equipado com válvula tipo Bunsen na parte superior e grade plástica de 10 cm de altura sobreposta por tela plástica e tecido de algodão no fundo. Após a

homogeneização das devidas proporções,  $6,0 \pm 7$  kg de forragem/silo foram compactados manualmente com o auxílio de um soquete de madeira. Esse procedimento teve como intuito padronizar a densidade média de 600 kg de MN/m<sup>3</sup>. Ao final, todos os silos foram selados com fita durex plástica e mantidos sob temperatura ambiente em torno de 24°C durante 117 dias.

#### 5.2.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS

Todas as amostras foram coletadas em duplicata de cada forragem a ser ensilada (n = 6), bem como de cada repetição (n = 60) após a abertura dos silos. Antes da amostragem da silagem, 5 cm da porção superior de cada repetição foram descartados para evitar interferência de possível microaeração. Após esse procedimento, toda a silagem foi retirada de cada silo, colocada em saco plástico individual identificado por repetição (n = 30) e homogeneizada para a amostragem.

As perdas gravimétricas por efluente, gases e perda total de MS (PTMS) foram calculadas conforme metodologia descrita por Jobim et al. (2007). Para as análises da composição química-bromatológica, amostras de aproximadamente 300 g das forragens, durante e após a ensilagem, foram coletadas. Dessas amostras, 25 g foram utilizados para a mensuração do potencial hidrogeniônico (pH) através do extrato da silagem (Kung et al., 1984); cerca de 30 g foram congelados para a posterior análise de ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGCC) e etanol; e o restante destinado à determinação da MS em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas (AOAC, 1990). As concentrações de AGCC foram obtidas por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, modelo LC-10Ai, Shimadzu, Tóquio, Japão), utilizando colunas de exclusão iônica da Shimadzu (Shim-pack SCR-101H (L17) 300 x 7,9mm) e os parâmetros analíticos recomendados pelo fabricante (fase móvel: HClO<sub>4</sub> 100 mmol/L; vazão: 0,6 mL/min; temperatura da coluna: 50°C).

Posteriormente, as amostras secas em estufa foram moídas em moinho de facas do tipo Wiley, com peneira de malha 1 mm, acondicionadas em sacos plásticos identificados e enviadas ao laboratório para análises de composição bromatológica. Foram determinados os teores de matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE), conforme metodologias descritas pela AOAC

(1990), e as frações de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, conforme o método de Van Soest et al. (1991).

Em relação às análises microbiológicas, amostras de 25 g foram coletadas, diluídas assepticamente em 225 mL de solução salina estéril (adaptada de Kung e Ranjit, 2001) e agitadas durante 1 min a 3850 rpm. Em seguida, as amostras foram filtradas em três camadas de gaze e submetidas à diluição decimal seriada.

Para o cultivo das bactérias ácido-láticas (BAL), a diluição decimal foi feita em caldo MRS (MRS KASVI, KASVI, Pinhais, PR, Brasil), utilizando placas de petri (Qualividro, Passos, MG, Brasil), e mantidas em incubadora para culturas microbiológicas a 30°C por 48 horas, quando ocorreu a contagem das colônias. Para os fungos filamentosos e leveduras, as amostras foram diluídas em solução salina estéril, utilizando placas de petri (Qualividro, Passos, MG, Brasil) em caldo de levedura glicose cloranfenicol ágar (YGC, HIMEDIA, Mumbai, MART, India), e mantidas em incubadora BOD a temperatura média de 23,5°C. A contagem das colônias de leveduras e fungos filamentosos ocorreu após 72 e 120 horas de incubação, respectivamente.

Por fim, a avaliação da estabilidade aeróbia seguiu a metodologia descrita por Moran et al. (1996), na qual uma amostra de 2 kg de cada repetição foi colocada em um recipiente aberto, sem compactação, e mantida em sala de temperatura controlada a 25°C. No centro da massa de cada amostra, um termômetro digital de contato (HI145-00, Hanna Instruments, Tamboré Barueri, Brasil) foi inserido para a mensuração manual das temperaturas a cada 1 hora, durante 10 dias. Adicionalmente, outros 2 kg das silagens foram mantidos sob as mesmas condições, visando as coletas de amostras para a determinação do pH nos dias 0, 2, 4, 6, 8 e 10 de exposição ao ar.

### **5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Adotou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, consistindo em seis tratamentos com cinco repetições (total de 30 unidades experimentais), conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Em que:  $Y_{ij}$  = valor observado na unidade experimental submetida ao tratamento  $i$  no bloco  $j$ ;  $\mu$  = média geral da variável dependente;  $T_i$  = efeito do  $i$ -

ésimo tratamento ( $i = 1, 2, \dots, 6$ );  $B_j$  = efeito do  $j$ -ésimo bloco ( $j = 1, 2, \dots, 5$ );  $\epsilon_{ij}$  = erro experimental associado à unidade, assumindo-se que  $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ , ou seja, segue uma distribuição normal com média zero e variância constante.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada a 5% de significância em todos os dados. Quando significativas para efeito de tratamento, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Os dados da avaliação microbiológica, expressos em unidade formadora de colônia (UFC), foram transformados para unidade logarítmica na base dez ( $\log$  UFC) antes da realização dos testes estatísticos. Todos os procedimentos foram feitos utilizando o software SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA).

#### **5.4 RESULTADOS**

A composição químico-bromatológica e concentração de AGV de silagens de Capiçu com diferentes níveis de inclusão de *T. diversifolia* após 117 dias de fermentação está apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 - Composição químico-bromatológica e concentração de ácidos graxos voláteis de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiaçú exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*.

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>						p-valor
	CF	CF + TD10%	CF + TD20%	CE + TD10%	CE + TD20%	CE	
pH	4,23	4,26	4,42	4,20	5,12	4,36	0,487
MS, %	16,02 <sup>b</sup>	17,16 <sup>a</sup>	17,48 <sup>a</sup>	17,51 <sup>a</sup>	17,38 <sup>a</sup>	17,29 <sup>a</sup>	0,0002
MM, % MS	13,03	12,58	12,23	12,64	13,25	13,94	0,093
CHot, % MS	76,54	77,56	76,69	77,94	75,95	75,37	0,155
FDN, % MS	80,59	81,95	81,05	79,04	79,04	82,64	0,206
FDA, % MS	54,80	56,32	56,08	55,98	56,99	57,51	0,552
MO, % MS	86,97	87,42	87,77	87,36	86,75	86,06	0,093
PB, % MS	6,93 <sup>b</sup>	7,09 <sup>ab</sup>	8,11 <sup>ab</sup>	7,35 <sup>ab</sup>	8,41 <sup>a</sup>	7,80 <sup>ab</sup>	0,013
EE, % MS	3,16 <sup>a</sup>	2,79 <sup>abc</sup>	2,96 <sup>ab</sup>	2,26 <sup>c</sup>	2,38 <sup>bc</sup>	2,89 <sup>abc</sup>	0,002
Lignina, % MS	6,90	8,95	9,07	8,90	9,25	8,06	0,302
Ác. Acético, % MS	2,11 <sup>c</sup>	2,03 <sup>c</sup>	2,85 <sup>abc</sup>	3,58 <sup>ab</sup>	3,81 <sup>a</sup>	2,65 <sup>bc</sup>	<0,000
Ác. Lático, % MS	3,27 <sup>b</sup>	4,53 <sup>ab</sup>	4,28 <sup>ab</sup>	4,13 <sup>ab</sup>	4,18 <sup>ab</sup>	5,42 <sup>a</sup>	0,017
Ác. Butírico, % MS	0,34	0,42	0,39	0,49	0,47	0,42	0,103
Etanol, % MS	0,45	0,59	0,44	0,67	0,68	0,67	0,102

Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. <sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; MS - matéria seca corrigida; MM - matéria mineral; CHot - carboidratos totais; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; MO - Matéria Orgânica; PB - proteína bruta; EE - extrato etéreo. <sup>2</sup>CF - silagem de Capiaçú fresco; CF + TD10% - silagem de Capiaçú fresco + 10% de *Tithonia*; CF + TD20% - silagem de Capiaçú fresco + 20% de *Tithonia*; CE+ TD 10% - Silagem de Capiaçú Emurchecido + 10% de *Tithonia*; CE+ TD 20% - silagem de Capiaçú Emurchecido + 20% de *Tithonia*; CE - Silagem de Capiaçú Emurchecido.

Para as variáveis bromatológicas, houve efeito significativo dos tratamentos sobre a matéria seca ( $p = 0,0002$ ), proteína bruta ( $p = 0,0131$ ) e extrato etéreo ( $p = 0,0306$ ).

Exceto a silagem de Capiaçú fresco (CF), a qual apresentou o menor teor de MS, todas as demais tiveram valores similares para essa variável. Em média, o tratamento CF resultou em menos 7,72% de MS em comparação às outras silagens avaliadas (média de 17,36% MS). Efeito semelhante foi observado sobre os teores de PB. As silagens de Capiaçú emurchecido com adição de 20% de TD (CE + 20%TD) apresentaram o maior valor absoluto de PB (+ 21,35%) em relação à silagem CF. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários (média de 7,59% PB).

Em geral, o EE respondeu de maneira oposta à PB, sendo as silagens CF mais energéticas do que aquelas formadas por Capiaçú emurchecido aditivado com TD. Essas silagens apresentaram + 39,82% de EE quando comparadas ao tratamento CE + 10%TD, de menor valor absoluto. Contudo, o tratamento CF foi

semelhante aos tratamentos CF + TD 10%, CF + TD 20% e CE (média de 2,88% da MS). Os demais tratamentos apresentaram menor concentração sendo 21,35% menor do que a média geral (média de 2,95% da MS).

Sobre os ácidos orgânicos, houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores dos ácidos láctico ( $p = 0,0170$ ) e acético ( $p < 0,000$ ). O emurhecimento do Capiapu (CE) aumentou em 65,75% o ácido láctico quando comparado ao Capiapu fresco). Entretanto, independentemente da secagem prévia, a aditivação com TD também favoreceu a formação desse ácido, resultando em valores intermediários (média de 4,28%) entre os extremos absolutos. Para a variável ácido acético, silagens emurchecidas com inclusão de TD apresentaram as maiores concentrações (média de 3,69), 53,11% superior à média dos demais tratamentos (2,41%).

As perdas totais de matéria seca ( $p < 0,0001$ ) e as perdas por gases ( $p = 0,0002$ ) durante o processo fermentativo também foram influenciadas pelo emurhecimento e/ou inclusão da *Tithonia* (Tabela 17).

Tabela 17 - Perdas fermentativas em silagens de capim-elefante cv. BRS Capiapu exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*.

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>						p-valor
	CF	CF + 10%TD	CF + 20%TD	CE + 10%TD	CE + 20%TD	CE	
PTMS, % MS	7,71 <sup>d</sup>	14,15 <sup>c</sup>	9,08 <sup>cd</sup>	29,98 <sup>a</sup>	25,29 <sup>ab</sup>	21,91 <sup>b</sup>	<0001
PG, % MS	14,82 <sup>b</sup>	15,63 <sup>a</sup>	15,82 <sup>a</sup>	15,92 <sup>a</sup>	15,96 <sup>a</sup>	15,76 <sup>a</sup>	0,0002
PE, kg/t MV	7,77	7,86	8,51	7,24	7,32	6,12	0,5030

Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância. <sup>1</sup>PTMS – perdas totais de matéria seca; PG – perdas por gases; PE – perdas por efluente. <sup>2</sup>CF– silagem de Capiapu fresco; CF + TD10%– silagem de Capiapu fresco + 10% de *Tithonia*; CF + TD20%– silagem de Capiapu fresco + 20% de *Tithonia*; CE+ TD 10%- Silagem de Capiapu Emurchecido + 10% de *Tithonia*; CE+ TD 20% - silagem de Capiapu Emurchecido + 20% de *Tithonia*; CE – Silagem de Capiapu Emurchecido.

As menores perdas foram registradas no tratamento CF, que apresentou uma redução de 72,09% quando comparado à média (27,63 % da MS) dos tratamentos de maiores perdas (CE + 10% TD e CE + 20% TD). Os tratamentos frescos com inclusão de *Tithonia* (CF + 10% TD e CF + 20%TD) também apresentaram redução significativa de 57,98% em comparação aos tratamentos de maior perda. Já o tratamento exclusivo de capim emurchecido (CE)

apresentou menor perda (20,70%) em comparação aos demais emurchecidos, contudo, maior (52,94%) que os tratamentos contendo capim fresco.

As silagens CF também apresentaram as menores perdas por gases (PG) dentre todos os tratamentos avaliados (os quais foram semelhantes entre si), resultando em uma diferença média de cerca de - 1 ponto percentual (p.p.).

Quanto ao perfil microbiológico, apenas a contagem de BAL diferiu significativamente ( $p = 0,0354$ ) entre os tratamentos (Tabela 18). O tratamento CF + TD20% apresentou a maior média, seguido por CE + TD20% e CE + TD10%, com valores relativamente próximos entre si. O menor valor foi observado no tratamento CF + TD10%, representando uma redução de aproximadamente 7,92% em relação ao maior valor observado.

Tabela 18 - Contagem microbiana em silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*.

Variáveis, log UFC/g <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>						p-valor
	CF	CF + TD10%	CF + TD20%	CE + TD 10%	CE + TD 20%	CE	
BAL	6,76 <sup>ab</sup>	6,51 <sup>b</sup>	7,07 <sup>a</sup>	6,86 <sup>ab</sup>	6,91 <sup>ab</sup>	6,84 <sup>ab</sup>	0,035
Leveduras	4,63	4,73	5,16	5,17	5,56	4,74	0,529
Fungos filamentosos	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	< 3,00	-

Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância. <sup>1</sup>UFC – Unidades formadoras de colônia; BAL – bactérias ácido-láticas. <sup>2</sup>CF – silagem de Capiáçu fresco; TD10%– silagem de Capiáçu fresco+ 10% de *Tithonia*; TD20%– silagem de Capiáçu fresco + 20% de *Tithonia*; CE+ TD 10%- Capiáçu Emurchecido + 10% de *Tithonia*; CE+ TD 20%- Capiáçu Emurchecido + 20% de *Tithonia*; CE – Capiáçu Emurchecido.

A avaliação de estabilidade aeróbia das silagens está apresentada na Tabela 19. Houve efeito significativo dos tratamentos sobre a estabilidade aeróbia ( $p = 0,0457$ ) e as perdas de matéria seca após a exposição ao ar (PMSea,  $p = 0,0009$ ). O maior tempo de estabilidade foi observado no tratamento CE + TD20% (240 horas), contudo, igual estatisticamente aos demais tratamentos (média = 99,46 horas), exceto para o tratamento CF+TD 10%, que apresentou redução de 86,20% em relação à média geral (125,54 horas).

Tabela 19 - Resultados da avaliação da estabilidade aeróbia de silagens de capim-elefante cv. BRS Capiapu exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*.

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>						p-valor
	CF	CF+ TD10%	CF+ TD 20%	CE + TD10%	CE + TD20%	CE	
EA, horas	83,60 <sup>ab</sup>	17,60 <sup>b</sup>	81,25 <sup>ab</sup>	158,60 <sup>ab</sup>	240 <sup>a</sup>	74,40 <sup>ab</sup>	0,045
TMax, °C	27,84	28,18	29,62	29,12	26,78	29,22	0,083
PMSea, % MS	9,18 <sup>b</sup>	19,87 <sup>a</sup>	9,37 <sup>b</sup>	10,5 <sup>b</sup>	8,72 <sup>b</sup>	8,72 <sup>b</sup>	0,0009

Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância. <sup>1</sup>EA – estabilidade aeróbia; TMax – temperatura máxima; PMSea – perdas de matéria seca após a exposição ao ar. <sup>2</sup>CF– silagem de Capiapu fresco; CF + TD10%– silagem de Capiapu fresco + 10% de *Tithonia*; CF + TD20%– silagem de Capiapu fresco + 20% de *Tithonia*; CE+ TD 10%- Silagem de Capiapu Emurchecido + 10% de *Tithonia*; CE+ TD 20%- silagem de Capiapu Emurchecido + 20% de *Tithonia*; CE – Silagem de Capiapu Emurchecido.

Esse mesmo tratamento (CF + 10% TD) também apresentou as maiores perdas de matéria seca (PMSea), com valores aproximadamente 2 vezes superiores à média dos demais tratamentos (9,30% MS), os quais não diferiram estatisticamente entre si.

A Figura 5 apresenta o pH durante a estabilidade aeróbia das silagens de Capiapu, aditivadas ou não com *T. diversifolia*.

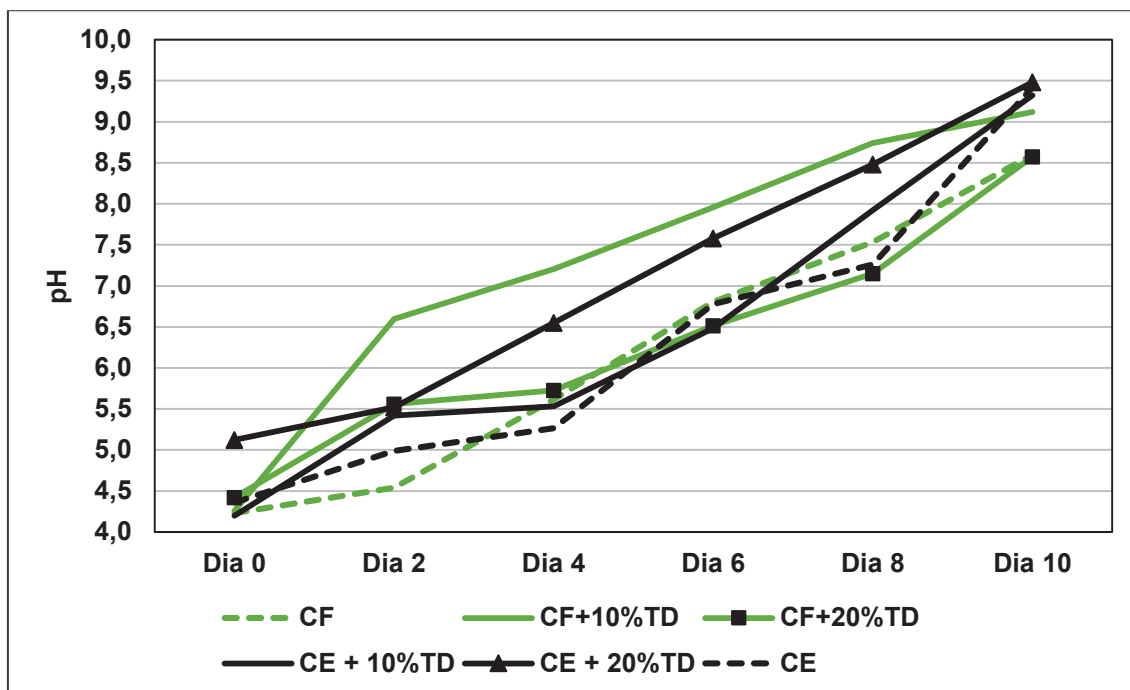


Figura 5 - Curvas de pH das silagens de capim-elefante cv. BRS Capiáçu, exclusivas ou combinadas com *Tithonia diversifolia*, durante exposição ao ar. 2 CF – silagem de Capiáçu fresco; CF + TD10% – silagem de Capiáçu fresco + 10% de Tithonia; CF + TD20% – silagem de Capiáçu fresco + 20% de Tithonia; CE + TD 10% – Silagem de Capiáçu Emurchecido + 10% de Tithonia; CE + TD 20% – Silagem de Capiáçu Emurchecido + 20% de Tithonia; CE – Silagem de Capiáçu Emurchecido.

O pH das silagens aumentou gradualmente durante os dez dias de exposição ao ar, com comportamento semelhante entre os tratamentos nos primeiros dias. A partir do quarto dia, começam a surgir diferenças mais evidentes, com destaque para o tratamento CF + 20% TD, que apresentou elevação mais acentuada de pH entre os dias 8 e 10, indicando maior instabilidade. Por outro lado, o tratamento CF manteve valores de pH mais baixos até o quarto dia. Os demais tratamentos apresentaram variações intermediárias, sem alterações bruscas no padrão da curva.

## 5.5 DISCUSSÃO

### 5.5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA E PRODUTOS DA FERMENTAÇÃO

Apesar das condições climáticas desfavoráveis durante a condução do experimento (Figura 4), que prolongaram o tempo de emurchecimento para 29 horas, os dados mostraram que tanto o emurchecimento quanto a adição de TD

foram eficazes em elevar os teores de matéria seca das silagens. O maior valor absoluto de MS foi observado no tratamento com capim fresco aditivado com TD (17,61%), o que indica que, mesmo sem o emurchecimento, a TD promoveu ganhos significativos nesse parâmetro. Esses resultados sugerem que, em condições climáticas desfavoráveis, a inclusão de TD pode ser uma alternativa viável para elevar a MS da forragem, reduzindo a dependência de um emurchecimento prolongado e, muitas vezes, ineficiente.

O aumento da MS devido à adição de TD e o uso do emurchecimento ainda que discreto, indica menor umidade, o que pode favorecer sua preservação e redução de perdas por efluentes. Apesar desse efeito benéfico, os valores observados ainda estão abaixo do ideal para silagens de gramíneas tropicais bem conservadas, que geralmente devem apresentar entre 30% e 35% de matéria seca (McDonald et al., 1991), sugerindo que o emurchecimento em condições ideais poderia ser uma estratégia adicional para elevar a MS e melhorar a qualidade fermentativa das silagens. Seguramente, haverá perdas nos teores de MS, resultantes do processo fermentativo oriundo da respiração celular e metabolismo dos microrganismos anaeróbios, que são responsáveis pelo consumo de açúcares, produção de CO<sub>2</sub> e água durante o processo (Junges et al., 2013). Contudo, foram verificados valores de pH dentro da faixa esperada para silagens de capim-elefante e TD os quais, devido ao elevado poder tamponante desses materiais, tendem a estabilizar em pH mais alto (McDonald et al., 1991).

Como esperado, os teores de PB aumentaram conforme o nível de inclusão de TD, mesmo quando ensilada junto ao Capiáçu fresco, de baixa PB. Atribui-se esse efeito à alta concentração de proteínas, de 15,21%, encontrada nas folhas da *T. diversifolia* no momento da ensilagem (Tabela 15). Proporcionalmente, os dados do presente estudo corroboram com aqueles encontrados por Morales et al. (2016) avaliando a inclusão de *T. diversifolia* em silagens de capim elefante (cv. Cuba CT-169) na proporção 40:60 e 60:40 em MN. Os autores verificaram que a maior proporção de TD (60%) aumentou a concentração de PB (18,86%) em relação à de menor inclusão (10,82% PB). Ainda, valores semelhantes aos nossos também foram observados por Gutierrez et al. (2014) quando analisaram a ensilagem de 20% de TD junto a 80% de Capiáçu e encontraram valores de 7,79% de PB.

Entretanto, o tratamento CE apresentou maior teor de PB que o tratamento CE + 10% TD, ambos emurhecidos. Essa diferença, embora pequena, contradiz a tendência geral observada com maiores níveis de inclusão de TD, e pode ser explicada pela baixa proporção de TD (10%), que pode não ter sido suficiente para promover um incremento significativo de PB, especialmente considerando a variabilidade natural do capim-elefante colhido. Estudos de Ribeiro et al. (2020) e Sosa (2024) apontam que níveis reduzidos de inclusão de leguminosas ou outras fontes proteicas não garantem, necessariamente, aumento nos teores de PB da silagem, podendo até diluir o conteúdo nutricional dependendo da composição dos materiais envolvidos. Além disso, a composição química do capim-elefante pode sofrer variações importantes em função do estágio de maturidade, condições ambientais e tempo de emurhecimento.

O menor teor de extrato etéreo (EE) foi observado nas silagens emurhecidas com adição de *Tithonia diversifolia*, quando comparadas aos demais tratamentos. Essa redução pode ser atribuída à baixa concentração lipídica da *Tithonia*, o que contribui para a diluição dos lipídios totais da silagem, especialmente em função do aumento proporcional da fração fibrosa. Além disso, o processo de emurhecimento pode favorecer perdas de compostos lipídicos voláteis por oxidação ou volatilização durante o período pré-ensilagem. Ressalta-se ainda que, no momento da ensilagem, o capim-elefante já apresentava um teor naturalmente elevado de EE (Tabela 15), o que também pode ter influenciado os resultados observados. Contudo, os resultados encontrados estão dentro do preconizado por Marques et al. (2021), os quais devem ser inferiores a 5% para que o consumo não seja limitado.

Os produtos da fermentação (ácido lático, acético e butírico) estavam dentro da faixa de 3-8, 2-5 e <0,5% respectivamente, descrita em literatura para silagens úmidas, que possuem maior risco de fermentações indesejadas (Kung Jr. et al., 2018; McDonald et al., 1991). No entanto, silagens com inclusão de TD obtiveram maiores concentrações de ácido acético, característico de silagens úmidas (>70% de umidade), devido às fermentações prolongadas (Kung Jr et al, 2018). Contudo, nessas silagens verificou-se a presença de ácido butírico, o que indica a ocorrência de fermentação clostridial, na qual o ácido lático é convertido em ácido butírico, favorecido por baixos teores de matéria seca, os quais dificultam a rápida queda do pH durante a ensilagem. Segundo Kung Jr et al.

(2018) silagens de leguminosas e gramíneas com baixo teor de MS tendem a apresentar pH mais alto do que o normal, porém no presente estudo, não diferiram entre os tratamentos. Vale ressaltar que a TD não é uma leguminosa, porém possui características semelhantes.

### 5.5.2 PERDAS FERMENTATIVAS

Foram observadas maiores perdas totais de matéria seca (PTMS) em tratamentos emurchecidos combinados com a TD. Embora inicialmente se considerasse que essas perdas pudessem estar associadas a uma maior produção de gases, os dados mostram que as perdas por gases (PG) foram relativamente similares entre os tratamentos, com exceção do CF. De acordo com Bueno et al. (2020), a maior parte dos gases é produzida nos primeiros dias da ensilagem, impulsionada pela respiração do oxigênio residual nos poros do material vegetal. No entanto, esses mesmos tratamentos apresentaram também maiores concentrações de ácido acético, o que sugere que a fermentação heterolática pode ter sido mais intensa, resultando em maior produção de compostos voláteis, como o próprio ácido acético, e conseqüentemente em maiores perdas por volatilização durante a secagem em estufa. O que foi retratado no tratamento CF + 10% TD, que apresentou alta PG, mas baixa PTMS, reforçando que os mecanismos de perda diferem entre os tratamentos e não podem ser atribuídos apenas à perda gasosa.

Assim, no presente estudo, os dados indicam que as maiores PTMS estiveram mais associadas à produção de ácidos voláteis do que à respiração inicial ou formação de gás. No entanto, é importante destacar que maiores perdas de MS não indicam, por si só, menor qualidade fermentativa, uma vez que fatores como estabilidade aeróbia e população microbiana também influenciam na conservação da silagem (Kung Jr. et al., 2018).

### 5.5.3 POPULAÇÃO MICROBIANA DA SILAGEM

Conforme apresentado na Tabela 18, a maioria dos tratamentos apresentou contagens de bactérias ácido-láticas (BAL) estatisticamente semelhantes. Esse desempenho pode estar relacionado à composição microbiana epifítica da *Tithonia diversifolia*, que, ao ser adicionada em maiores proporções, provavelmente forneceu substratos fermentescíveis e compostos bioativos como

lactonas, flavonoides, taninos e saponinas, o que pode ter contribuído para a modulação da microbiota da silagem, favorecendo o crescimento de bactérias ácido-láticas e inibindo outros possíveis deterioradores não avaliados no presente estudo. Além disso, o teor de matéria seca e o ambiente inicial de fermentação nesses tratamentos podem ter sido mais adequados à multiplicação dessa microbiota benéfica. Em contrapartida, o tratamento CF + TD10% apresentou a menor contagem (6,51 log UFC/g), o que pode estar associado à menor proporção de *Tithonia* e possível limitação na oferta de substrato solúvel, resultando em condições menos favoráveis à colonização e crescimento de BAL (McDonald et al., 1991). Esses resultados indicam que tanto a proporção de inclusão da *Tithonia* quanto a condição do capim influenciam a resposta microbiana da silagem.

Os tratamentos emurchecidos (CE, CE+10% TD e CE+20% TD) apresentaram contagens elevadas de BAL, variando entre 6,86 e 6,91 log UFC/g, sugerindo que o emurchecimento da forragem antes da ensilagem pode ter contribuído para a manutenção de um ambiente favorável ao crescimento dessas bactérias. Entretanto, o tratamento CF + 20% TD apresentou o menor valor, o que pode estar relacionado à ausência de emurchecimento aliada à maior proporção de *Tithonia*, que possui elevada umidade e capacidade tampão, o que pode ter dificultado o rápido abaixamento do pH e favorecido a competição com microrganismos indesejáveis nos estágios iniciais da fermentação. Isso pode ter inibido o crescimento das BAL e prejudicado o estabelecimento inicial da microbiota desejável. Ainda assim, observou-se predominância de BAL em relação a leveduras e fungos filamentosos na maioria dos tratamentos, o que, aliado à baixa concentração de ácido butírico ( $\leq 0,42\%$ ) e pH dentro da faixa adequada (4,10 - 5,12), sugere que a fermentação foi majoritariamente láctica e eficiente, mesmo diante das limitações impostas pelo baixo teor de matéria seca.

#### 5.5.4 ESTABILIDADE AERÓBIA

Apesar de o tratamento CE + 20% TD ter apresentado a maior estabilidade aeróbia (>240 horas), é importante considerar que este resultado não difere estatisticamente de outros tratamentos, como CF e CE, que não foram emurchecidos nem receberam os mesmos níveis de inclusão de *Tithonia*. Embora características sensoriais não tenham sido avaliadas, é relevante

destacar que, após 10 dias de exposição ao ar, silagens de Capiáçu emurchecido combinado com a TD apresentaram coloração um pouco mais escurecida, cheiro preservado e menor presença de fungos visuais. Esse efeito pode estar mais diretamente relacionado à maior concentração de ácido acético observada nesse tratamento, já que esse ácido possui ação antifúngica reconhecida e pode ter contribuído para inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes durante a exposição ao ar (Kung Jr. et al., 2018).

Assim, embora a *Tithonia* contenha compostos bioativos com potencial antifúngico, como lactonas sesquiterpênicas (Ajao & Moteetee, 2017), os resultados deste estudo indicam que a produção de ácido acético parece ter tido papel mais relevante na manutenção da estabilidade aeróbia. Holguín et al. (2017) verificaram que maiores inclusões de TD (100% e 67% na MN) proporcionaram maior estabilidade aeróbia em relação àquelas com maior proporção de capim-elefante em virtude de sua capacidade tamponante manter o pH após a abertura dos silos.

Em materiais mais úmidos, como é o caso do capim-elefante e da TD, nem sempre a deterioração aeróbia é acompanhada por elevação da temperatura do material devido à absorção do calor produzido pela água (Woolford, 1990). Dessa forma, recomenda-se para materiais mais úmidos a avaliação conjunta do pH durante a exposição ao ar. Considerando as perdas de MS e aumento do pH como resultado da degradação, as silagens controle apresentaram maior resistência à degradação (Figura 5). A partir do primeiro dia nota-se um aumento considerável no pH em todos os tratamentos, indicando que houve degradação do material e corroborando com os dados da Tabela 19, na qual a estabilidade de silagens controle durou cerca de três dias (83,6 horas), cerca de 156.4 horas a menos em relação ao tratamento CE+20% que manteve sua estabilidade (240h). Conforme mencionado por Heinritz et al. (2012), gramíneas tropicais apresentam concentrações de carboidratos não estruturais variando de 31 a 77 g/kg MS, portanto a acidificação é melhor quando a mistura tem uma alta proporção de gramíneas pois há maior disponibilidade de substratos para as BAL, favorecendo a acidificação da silagem.

A redução no pH observada nas silagens com maiores proporções de Capiáçu pode estar associada à menor capacidade tampão em comparação à *Tithonia*, que é naturalmente mais tamponada devido à sua composição mineral

e proteica. Entretanto, ao avaliar a estabilidade aeróbia, nota-se que o efeito do emurchecimento foi mais expressivo do que os níveis de inclusão de TD sobre o pH durante a exposição ao ar. Embora Holguín et al. (2017) relatem que a TD pode contribuir para maior estabilidade aeróbia por retardar elevações abruptas de pH após a abertura do silo, no presente estudo, o emurchecimento mostrou-se mais determinante nesse aspecto, possivelmente por reduzir a umidade e limitar o crescimento de microrganismos deteriorantes no período pós-abertura.

As perdas de MS após a estabilidade aeróbia (PMSea) foram maiores nas silagens de CF + 10%TD (19,87%), sendo observado o oposto nas demais (média de 9,30%). A princípio, esse resultado poderia ser interpretado como indicativo de menor estabilidade aeróbia nesse tratamento. No entanto, ao considerar o conjunto dos dados, especialmente a baixa perda total de MS (PTMS) e a maior concentração de ácido láctico observada nesse mesmo tratamento, é possível que a fermentação tenha sido altamente eficiente, com boa preservação dos nutrientes durante o período anaeróbico. Conforme discutido por Kung Jr. et al. (2018), silagens muito bem fermentadas, com alta produção de ácido láctico, podem se tornar mais suscetíveis à deterioração aeróbia caso haja acúmulo de substratos facilmente metabolizáveis por leveduras. Além disso, Muck et al. (2018) destacam que a presença de ácido acético e baixa população de leveduras favorecem a estabilidade aeróbia, o que não foi observado no presente estudo, já que não houve redução significativa dessas populações. Assim, as maiores PMS<sub>a</sub> no tratamento CF + 10% TD pode ser uma possível consequência da elevada eficiência fermentativa inicial.

Incluir a TD no processo de ensilagem do capim elefante cv. BRS Capiapu foi benéfico, dado o maior valor de PB dessas silagens, sem comprometer outros parâmetros de qualidade. Contudo, houve maiores perdas associadas à fermentação. Por isso, deve-se atentar às possíveis adversidades climáticas durante a ensilagem, visto que, podem tornar inviável a obtenção de níveis adequados de MS e, conseqüentemente, aumentar a suscetibilidade de silagens mais úmidas às perdas por fermentação indesejável.

## **5.6 CONCLUSÃO**

A ensilagem em conjunto do capim elefante cv. BRS Capiáçu emurchecido com 20% de *T. diversifolia* é indicada quando o objetivo é obter silagens mais proteicas e maior estabilidade aeróbia. Entretanto, deve-se atentar aos cuidados pré-ensilagem visando maior matéria seca do material ensilado.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - *campus* Barbacena pela infraestrutura para a realização da pesquisa e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para a realização das análises.

## 5.7 REFERÊNCIAS

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry (1995). Official Methods of Analysis. 16th ed. AOAC International, Washington, DC.

Ajao, A.A., & Moteetee, A.N. (2017). *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. (Asteraceae: Heliantheae), uma planta invasora de significativa importância etnofarmacológica: Uma revisão. South African Journal of Botany, 113, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.09.017>

Bueno, A.V.I., Vigne, G.L.D., Novinski, C.O., Bayer, C., Jobim, C.C. & Schmidt, P. (2020). Natamycin as a potential silage additive: A lab trial using sugarcane to assess greenhouse gas emissions. Revista Brasileira de Zootecnia, 49, e20200017. <https://doi.org/10.37496/rbz4920200017>

Gutiérrez, D., Morales, A., Elías, A., García López, R. G., & Sarduy, L. (2014). Chemical composition and *in situ* ruminal degradability of dry matter in mixed silages of *Tithonia diversifolia*: *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169, inoculated with VITAFERT. Cuban Journal of Agricultural Science, 48(4), 379–385. <https://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/567>

Heinritz, S.N., Martens, S.D., Avila, P. & Hoedtke, S. (2012). O efeito da adição de inoculante e sacarose na qualidade da silagem de leguminosas forrageiras tropicais com ensilabilidade variável. Animal Feed Science and Technology, 174 (3-4), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.017>

Holguín, V. A., Cuchillo, M., Mazabel, J., Quintero, S., & Mora-Delgado, J. (2017). Valor nutritivo e estabilidade aeróbica da ensilagem de *Pennisetum purpureum* com inclusões de *Tithonia diversifolia*. Zootecnia Tropical, 35(3–4), 163–170. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692017000300009](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692017000300009)

Jobim, C.C., Nussio, L.G., Reis, R.A. & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. Revista

Brasileira de Zootecnia 36:101-119. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>

Junges, D., Schmidt, P., Novinski, C.O. & Daniel, J.L.P. (2013). Aditivo contendo bactérias homo e heteroláticas na qualidade da fermentação da silagem de milho. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 35, 371-377. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i4.18833>

Kung Jr, L., Shaver, R.D, Grant, R.J., & Schmidt, R.J. (2018). Revisão de silagem: Interpretação de componentes químicos, microbianos e organolépticos de silagens. *Journal of Dairy Science*, 101 (5), 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

Kung, L. & Ranjit, N.K. (2001). The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. *Journal of Dairy Science*, 84:1149-1155. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74575-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74575-4)

Kung, L., Grieve, D.B., Thomas, J. W. & Huber, J.T. (1984). Added ammonia or microbial inocula for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. *Journal of Dairy Science* 67:299-306. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81302-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81302-8)

Marques, K.O., Jakelaitis, A., Guimarães, K.C. & Pereira, L.S. (2021). Perfil agrônomo, fermentativo e bromatológico da silagem obtida do consórcio entre milho e soja. *Research, Society and Development*, 10(1), e41410111925-e41410111925. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11925>

McDonald, P., Henderson, A. R. & Heron, S.J.E. (1991). *The biochemistry of silage*. 2nd ed. Chalcombe Publications, Marlow. 340p.

Medina, M.G., García, D.E., González, M.E., Cova, L.J. & Moratinos, P. (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121-134. [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692009000200003&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692009000200003&script=sci_arttext)

Morales, A., Rodríguez, R., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S. & Sarduy, L. (2016). Avaliação da inclusão de VITAFERT no valor nutritivo de silagens de *Tithonia diversifolia* e *Pennisetum purpureum*. *Revista Cubana de Ciências Agrárias*, 50 (4), 619-630. <https://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/666>

Moran, J. P., Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y. & Owen, T.R. (1996). A comparison of two methods for the evaluation of the aerobic stability of whole crop wheat silage. In *International silage conference* (Vol. 11, pp. 162-163).

Muck, R.E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T.A., Contreras-Govea, F.E.; Santos, M.C. & Kung Jr, L. (2018). *Silage review: recent advances and future uses of*

silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101:3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>

Oliveira, J.S., Miranda, J.E.C., Carneiro, J.C., Oliveira, P.S.D. & Magalhães, V.M.A. (2015). Como medir a matéria seca (MS%) em forragem utilizando forno de micro-ondas. *Comunicado Técnico*, 77. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora.

Okoye, C.O., Wang, Y., Gao, L., Wu, Y., Li, X., Sun, J. & Jiang, J. (2023). O desempenho de bactérias do ácido láctico na produção de silagem: Uma revisão da biotecnologia moderna para melhoria da silagem. *Pesquisa Microbiológica*, 266, 127212. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127212>

Ribeiro, R. S., Terry, S. A., Sacramento, J. P., Silveira, S. R. E., Bento, C. B. P., Silva, E. F., Mantovani, H. C., Gama, M. A. S., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Maurício, R. M., & Chaves, A. V. (2016). *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. *PLOS ONE*, 11(12), e0165751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751>

Ribeiro, K. G., de Souza, I. A., Rigueira, J. P. S., Cezário, A. S., de Campos Valadares Filho, S., & Pereira, O. G. (2020). Campo Grande stylo and elephant grass mixed silages treated with microbial inoculant. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(5), 1729-1738. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1729>

Sosa, H. G. (2024). Capim-elefante e titônia para produção de silagem na região do Alto Paraná da Argentina (Dissertação de Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco

Tendonkeng, F., Fogang Zogang, B., Sawa, C., Boukila, B., & Pamo, E. T. (2014). Inclusion of *Tithonia diversifolia* in multinutrient blocks for West African dwarf goats fed *Brachiaria* straw. *Tropical Animal Health and Production*, 46(6), 981–986. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0597-2>

Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY. 488p. <https://doi.org/10.7591/9781501732355>

Vega Granados, E., Sanginés García, L., Gómez Gurrola, A., Hernández-Ballesteros, A., Solano, L., Escalera-Valente, F. & Loya-Olguin, J.L. (2019). Substituição de alfafa por *Tithonia diversifolia* em cordeiros alimentados com dietas à base de silagem de cana-de-açúcar e polimento de arroz. *Revista Mexicana de Ciências Pecuárias*, 10 (2), 267-282. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4455>

Woolford, M.K. *The silage fermentation*. New York: Marcel Dekker, 1990. 350 p.

Zapata, A., Silva, B.E. (2010). Reconversión ganadera y sistemas silvopastoriles en el Departamento de Risaralda y el Eje Cafetero de Colombia. *CARDER, CIPAV*. Cali, Colombia.p. 112. [https://cipav.org.co/sdm\\_downloads/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos/](https://cipav.org.co/sdm_downloads/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos/)

## 6 CAPÍTULO IV - PRODUÇÃO DE METANO *in vitro* DE SILAGENS DE CAPIM-ELEFANTE CV. KING GRASS COM INCLUSÃO DE *Tithonia diversifolia*

### RESUMO

A busca por sistemas de produção animal mais eficientes e sustentáveis impulsiona o uso de alimentos como a *Tithonia diversifolia* (TD), a qual se destaca por seu alto teor proteico e capacidade de modular a fermentação ruminal. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da inclusão de *T. diversifolia* no processo de ensilagem do capim-elefante cv. King Grass sobre a qualidade da silagem e produção de metano entérico. O experimento foi conduzido na Fazenda Mário González Aranda pertencente à Universidade Nacional da Colômbia em Palmira/CO. Os tratamentos avaliados foram: (i) capim-elefante exclusivo (0%); (ii) capim-elefante + 30% de *T. diversifolia* (30%); (iii) capim-elefante + 50% de *T. diversifolia* (50%); (iv) *T. diversifolia* exclusiva (100%). Todas as proporções foram calculadas em base de matéria natural e ambas as forragens foram previamente emurchecidas durante 24 horas sob condições ambientais. Após 33 dias de fermentação, a inclusão de TD elevou o nível de proteína bruta (+101,1%), a digestibilidade da matéria seca (+16,6%), a energia metabolizável (+20,5%) e reduziu os teores de FDN (-27,2%), FDA (-45,3%) e lignina (-49,1%), melhorando o valor nutricional das silagens. Ainda, o aumento da proporção de TD reduziu em 18,18% o volume de gás total acumulado devido à menor fermentabilidade da matéria seca e à presença de compostos secundários, como os taninos. A *T. diversifolia* pode ser uma alternativa viável à formulação de dietas mais sustentáveis, contribuindo para a redução da produção de metano ruminal, sem comprometer a qualidade nutricional.

**Palavras-chave:** compostos secundários, gases de efeito estufa, silagem mista, sustentabilidade.

## 6.1 INTRODUÇÃO

A emissão de gás metano (CH<sub>4</sub>), proveniente da fermentação entérica de ruminantes é um processo natural, resultado da digestão de carboidratos fibrosos no rúmen. Embora esse processo seja essencial para a conversão de fibras em alimentos de alto valor biológico, como carne e leite, parte da energia da dieta é perdida via metano, além de seu efeito estufa, com potencial de aquecimento global superior ao dióxido de carbono (Cárdenas e Flores, 2012; González et al., 2021).

Frente aos desafios atuais, há um interesse crescente em estratégias nutricionais que melhorem a eficiência de utilização dos nutrientes pelos ruminantes e reduzam a produção entérica de CH<sub>4</sub>. A utilização de plantas não convencionais, como arbustos, árvores forrageiras e aditivos naturais ricos em compostos bioativos, destaca-se como uma abordagem promissora (Molina-Botero et al., 2013; Cardona-Iglesias et al., 2017). Um exemplo relevante é a *Tithonia diversifolia*, espécie arbustiva tropical nativa da América Central, reconhecida por seu elevado teor de proteína bruta, minerais e energia, alta digestibilidade, baixos níveis de fibra, e presença de metabólitos secundários (Chagas-Paula et al., 2012; Gallego-Castro et al., 2014).

A inclusão dessa planta no processo de ensilagem tem se mostrado uma estratégia valiosa para aumentar o valor nutricional das dietas de ruminantes (Holguin et al., 2018; Rodriguez-Badilla et al., 2022). Alguns benefícios observados na literatura incluem a potencial mitigação da produção de metano entérico, o que representa menor perda de energia durante a digestão microbiana e maior aproveitamento do alimento, e melhorias na digestibilidade da matéria seca e no balanço de nitrogênio, destacando a viabilidade nutricional dessa forrageira (Holguin et al., 2020; Gonzalez et al., 2021).

Diante desse contexto, supõe-se que a inclusão de *T. diversifolia* na ensilagem de capim-elefante melhore a qualidade nutricional e altere a produção ruminal de gases, especialmente reduzindo o metano. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da ensilagem de *T. diversifolia* e de capim-elefante cv. King Grass, exclusivos ou combinados, sobre a composição química-bromatológica das silagens, digestibilidade e parâmetros fermentativos ruminais *in vitro*.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Corporação Colombiana de Investigação Agropecuária.

### 6.2.1 LOCAL E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Mário González Aranda, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Nacional da Colômbia (UNAL), localizada em Palmira/Colômbia (3°30'29" N e 76°18'45" W). O local possui altitude de 1.000 m acima do nível do mar e é caracterizado por clima com temperatura média anual de 24°C e precipitação de 1.000 mm (Valdés e Ortiz, 2021). Todas as análises, incluindo o ensaio *in vitro*, foram realizadas na Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária (Agrosavia), em Mosquera/Colômbia. Na Figura 6 estão apresentados os dados meteorológicos coletados na Estação Meteorológica da fazenda experimental, durante o período experimental, compreendido entre os dias 26 a 27 de janeiro de 2024.

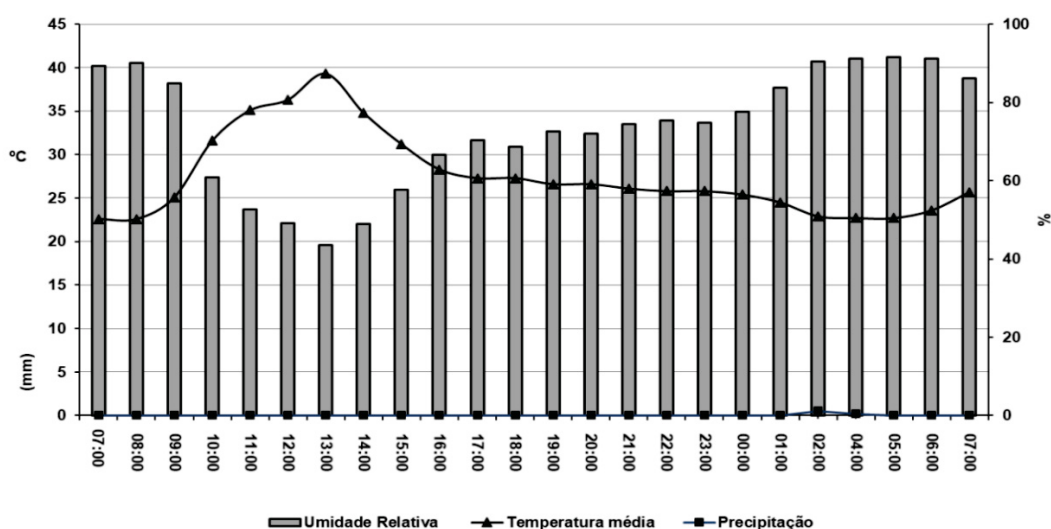


Figura 6 - Umidade relativa do ar, temperatura média e precipitação durante as etapas de ensilagem.

### 6.2.2 CONDUÇÃO, COLHEITA E SECAGEM DAS CULTURAS

Em ambas as culturas (*T. diversifolia* e *C. purpureus*), realizou-se o monitoramento periódico de pragas e doenças por meio de avaliações visuais,

aplicando produtos biológicos e antifúngicos quando necessário. O controle de plantas invasoras e a irrigação diária ocorreram de forma manual.

As plantas foram colhidas manualmente aos 60 dias após a rebrota, cortando-se a parte aérea 30 cm acima do nível do solo para uniformizar o crescimento. Após a colheita, as massas de forragem foram distribuídas em lonas plásticas no campo, sem misturar, em camadas de 15 cm de altura, sendo revolvidas e niveladas manualmente com o auxílio de ancinho e garfo a cada 4 horas.

Ao final do período de 24 horas de secagem, o valor médio de matéria seca (MS) alcançado foi de 20,65%. Na sequência, as forragens foram processadas em máquina forrageira estacionária (Penagos, modelo PE-1200) regulada para corte em tamanho médio teórico de partícula de 10 mm.

### 6.2.3 TRATAMENTOS E ENSILAGEM

Os materiais processados foram então distribuídos sob lonas previamente higienizadas, onde, nesse momento, formou-se quatro subdivisões com 45 kg de forragem fresca (FF) cada. Cada subdivisão correspondia a um tratamento, sendo eles: (i) apenas silagem de capim-elefante (0%); (ii) capim-elefante + 30% de *T. diversifolia* (30%); (iii) capim-elefante + 50% de *T. diversifolia* (50%); (iv) apenas silagem de *T. diversifolia* (100%). Todas as proporções foram baseadas na matéria natural. A caracterização químico-bromatológica das plantas a serem ensiladas está descrita na Tabela 20.

Tabela 20 - Composição químico-bromatológica de *Tithonia diversifolia* e capim-elefante cv. King Grass no momento da ensilagem.

Variáveis <sup>1</sup>	Forragens	
	<i>T. diversifolia</i>	King Grass
pH	5,90	5,70
MS, %	17,84	23,46
MM, % MS	11,98	10,45
FDN, % MS	54,90	70,61
FDA, % MS	28,10	40,28
PB, % MS	14,14	4,81
EE, % MS	1,22	1,50
CS, % MS	3,30	2,63
Lignina, % MS	6,27	8,53
Amido, % MS	6,74	6,04
NDT, % MS	43,13	56,57
TT, % MS	1,02	0,98
TC, % MS	0,08	0,05
Saponinas, % MS	1,31	1,48

<sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; MS – matéria seca; MM – matéria mineral; FDN – fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; PB – proteína bruta; EE – extrato etéreo; CS – carboidratos solúveis; NDT – nutrientes digestíveis totais; TT – taninos totais; TC – taninos condensados.

Em todos os tratamentos, pulverizou-se manualmente o inoculante Biomass<sup>®</sup>, seguindo a recomendação do fabricante de  $1 \times 10^8$  UFC/kg FF, com o objetivo de estimular a fermentação láctica, juntamente com o melaço na proporção de 50:50 como fonte de carboidratos solúveis.

Após a homogeneização, a forragem foi individualmente pesada (3,5 kg/silo) e compactada em silos plásticos com capacidade de 3 litros. A pesagem individual teve como intuito padronizar a massa específica em todas as unidades experimentais, resultando em densidade média de 580 kg FF/m<sup>3</sup>. Na sequência, todos os silos foram vedados com fita plástica e mantidos em laboratório sob temperatura ambiente de cerca de 25°C durante 33 dias. Ao final do período fermentativo, os silos foram levados ao laboratório de nutrição da Agrosavia para a coleta e análises das amostras e a realização dos ensaios *in vitro*.

#### 6.2.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISES QUÍMICO-BROMATOLÓGICAS DAS SILAGENS

Amostras foram coletadas no momento da ensilagem (uma de cada forragem (n = 2) e após a abertura dos silos de cada repetição (4 repetições por tratamento (n = 16)). Antes da coleta das amostras de silagem, 5 cm da porção superior dos silos foram descartadas para evitar interferência de possível microaeração. Após

esse procedimento, toda a silagem foi retirada, acondicionada em sacos plásticos individuais e identificados, e homogeneizada para a amostragem.

Para as análises de composição químico-bromatológica, amostras de aproximadamente 500 g de forragem fresca e de silagem foram coletadas. Dessas, determinou-se o potencial hidrogeniônico (pH) por meio do extrato aquoso na proporção 1:10 (Kung et al., 1984) e o teor de MS em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas (AOAC, 1990).

Após determinar a MS, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de malha de 1 mm, e acondicionadas em sacos plásticos individuais identificados para posterior análise bromatológica e de fermentação ruminal. Os teores de matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, amido, extrato etéreo (EE), além de compostos secundários (alcaloides, fenóis, taninos e saponinas) e minerais, foram determinados por espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (NIRS), utilizando curva de calibração desenvolvida por Ariza-Nieto et al. (2018) de domínio da Agrosavia, específica para a predição da composição nutricional de forragens tropicais.

## 6.2.5 FERMENTAÇÃO RUMINAL *IN VITRO*

### 6.2.5.1 ANIMAIS

O líquido ruminal foi obtido de três vacas secas da raça Holandesa, com peso corporal médio de 550 kg, mantidas a pasto com predominância de quicuío (*Pennisetum clandestinum*). Além da pastagem, durante os 15 dias do período de adaptação, os animais passaram a se alimentar também de silagem de *T. diversifolia*.

### 6.2.5.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE GASES

Aproximadamente 500 mL de líquido ruminal foram coletados no dia da incubação com o auxílio de sonda orogástrica e bomba manual de sucção, seguindo o procedimento descrito por Lima et al. (2018). Imediatamente após, o líquido foi filtrado em quatro camadas de gaze e mantido sob fluxo contínuo de CO<sub>2</sub> à temperatura de aproximadamente 39°C até a sua utilização, respeitando o intervalo máximo de 1 hora entre a coleta e o início da incubação.

Para as análises relacionadas à fermentação ruminal *in vitro*, utilizaram-se três repetições por tratamento ( $n = 12$ ). Foram pesados 0,6 g de cada silagem, previamente moída após a determinação da matéria seca (MS), e os materiais foram acondicionados em sacos de fibra Ankom F57 (Ankom Technology Corp., NY, EUA), selados termicamente. Os sacos foram introduzidos em frascos de vidro de 100 mL com tampas herméticas equipadas com sensores de pressão RF (Ruminal Fermentation). Cada frasco foi preenchido com 54 mL de meio tampão de Menke (Menke & Steingass, 1988) e 6 mL de líquido ruminal.

Além das 12 amostras, outros dois frascos brancos, contendo apenas o meio tampão e o fluido ruminal (sem substrato), foram preparados. Na sequência, todos os frascos foram hermeticamente fechados e incubados em estufa de ventilação forçada a 39°C por 72 horas.

As medições de pressão foram realizadas de forma automatizada por meio do Sistema de Produção de Gás RF Ankom® (Ankom Technology Corp., NY, USA), devidamente calibrado conforme as instruções do fabricante e corrigido para a pressão ambiente através do módulo "Remote Zero". O sistema foi configurado para registrar a produção de gases em tempo real, com medidas da produção acumulada às 4, 8, 12, 24, 48 e 72 horas de incubação.

Após cada medição da produção acumulada, uma amostra de gás foi cuidadosamente coletada com o auxílio de uma agulha e seringa hipodérmica estéril de 20 mL para posterior determinação da concentração de metano (CH<sub>4</sub>). Essas amostras foram então transferidas para tubos de ensaio tipo Vacutainer de 10 mL, fechados com rolha de borracha e identificados individualmente. Após a coleta, a pressão residual era liberada e o conteúdo dos frascos homogeneizados por suave agitação manual durante cinco segundos.

Realizou-se a determinação do CH<sub>4</sub> por meio de um detector portátil de leitura a laser (LaserMethane Mini®, Tokyo Gas Engineering Solutions, JP), seguindo as recomendações do fabricante. As leituras foram cronometradas em 1 minuto, em temperatura ambiente, a fim de padronizar o tempo de exposição à leitura e garantir a reprodutibilidade dos dados entre amostras.

### 6.2.5.3 ANÁLISE DA DIGESTIBILIDADE POTENCIAL DAS SILAGENS

Ao final de 72 horas, os frascos foram retirados da incubadora e os sacos de fibra Ankom F57 removidos utilizando pinça metálica, sendo imediatamente transferidos para bandejas contendo água em temperatura ambiente visando interromper a atividade fermentativa. Em seguida, os sacos foram submetidos a quatro lavagens sucessivas de 5 minutos cada em água destilada para a remoção de resíduos de fermentação, e secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas.

Após a secagem, os sacos foram resfriados em dessecador por 30 minutos e pesados em balança analítica de precisão, cujos valores foram utilizados para o cálculo da digestibilidade potencial da matéria seca (DMS), segundo a equação de Goering e Van Soest (1970):

$$\text{Digestibilidade potencial (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

### 6.2.5.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FERMENTATIVOS

Além da digestibilidade potencial, o pH e o nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) também foram determinados. O pH do líquido foi imediatamente mensurado utilizando pHmetro digital (HI-8424, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, EUA), devidamente calibrado. Em seguida, 10 mL do fluido de incubação foram coletados com o auxílio de uma pipeta ou seringa estéril e transferidos para frascos de polipropileno de 15 mL. As amostras foram mantidas congeladas a -20°C até o momento da análise do N-NH<sub>3</sub>, a qual seguiu a metodologia descrita por Kulasek (1972).

## 6.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente, foi conduzida uma análise de componentes principais (ACP) para visualizar as relações entre as variáveis bromatológicas e os tratamentos (inclusão de TD). A ACP foi conduzida utilizando a matriz de correlação das variáveis entre si. Foram calculados os autovalores e a variância explicada para cada um dos componentes principais. Além disso, foram calculados os

autovetores de cada variável original para cada componente principal. Os autovetores indicam quais variáveis originais apresentam mais “peso” ou influência dentro de cada componente. Utilizamos um gráfico biplot para visualização dos resultados da ACP.

Na sequência, as variáveis bromatológicas para cada nível de inclusão foram comparadas por meio de análise de variância utilizando um modelo linear geral. Além disso, testamos os efeitos do nível de inclusão por meio de regressão linear, quadrática e cúbica utilizando contrastes ortogonais. Quando necessário comparar as médias utilizamos o teste de Tukey a 5% de significância. O modelo geral da análise de variância segue abaixo:

$$y_{ij} = \mu + TD_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde,

$y_{ij}$  = valor observado da variável resposta para a  $i$ -ésima observação;

$\mu$  = constante comum a todas as observações;

$TD_j$  = efeito do  $j$ -ésimo nível de inclusão de TD, com  $j = 4$ ;

$\varepsilon_{ij}$  = resíduo associado à observação  $y_{ij}$ .

Para os dados de produção de gases *in vitro*, testamos ao todo 7 modelos não lineares para cada amostra incubada. Os modelos testados foram os seguintes: Logístico, Von Bertalanffy, Gompertz, Brody, Michaelis-Menten, Orskov e McDonald e France. Dentre os modelos testados, o que apresentou melhor ajuste foi o modelo Logístico e, portanto, foi o escolhido para cálculo dos parâmetros da curva de produção de gás. O modelo Logístico segue abaixo:

$$y = A / (1 + B \times e^{(-k \times t)})$$

$y$  = valor observado de produção de gás;

$A$  = volume total de gás produzido;

$B$  = parâmetro de forma da curva ou ponto de inflexão;

$k$  = taxa de degradação;

$t$  = tempo de incubação (horas).

Os mesmos modelos acima mencionados foram ajustados para produção de metano. Porém, contrariamente ao bom ajuste destes para produção de gás, os modelos falharam em muitas amostras para convergir a uma solução. O problema ocorria por conta de valores extremos de produção de metano para muitas das amostras, algo comum com dados de metano (Ramin & Huhtanen, 2012; Hatew et al., 2015). Desta forma, optou-se por uma abordagem diferente utilizando um modelo de regressão linear robusta. Este modelo minimiza o efeito de *outliers* no cálculo dos parâmetros, tornando as estimativas menos influenciadas por valores extremos (Yohai, 1987). O modelo de regressão linear robusta é semelhante ao modelo tradicional e segue abaixo:

$$y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i$$

$y_i$  = valor observado da variável resposta para a  $i$ -ésima observação;

$\alpha$  = intercepto;

$\beta$  = coeficiente de regressão para o efeito  $X_i$ ;

$X_i$  = efeito do nível de inclusão de TD;

$\varepsilon_i$  = resíduo associado à observação  $y_i$ ;

Após a obtenção dos parâmetros da curva de produção de gás e metano para cada amostra realizamos análise de variância entre os níveis de TD. Assim como para as variáveis bromatológicas, os parâmetros das curvas foram comparados e testados para o nível de inclusão de TD por meio de regressão linear, quadrática e cúbica utilizando contrastes ortogonais. O modelo utilizado foi o mesmo aplicado para as variáveis bromatológicas.

Todas as análises foram realizadas no software estatístico SAS Studio (2022). A ACP foi realizada SAS PROC PRINCOMP e o gráfico biplot foi criado a partir do SAS PROC PRINQUAL. As regressões não lineares foram ajustadas utilizando o SAS PROC NLIN. Os modelos lineares gerais para comparação de médias e contrastes ortogonais para testes de regressão foram realizados por meio do SAS PROC GLM. Regressões robustas foram ajustadas por meio do SAS PROC ROBUSTREG. As pressuposições de normalidade (SAS PROC UNIVARIATE), homogeneidade (SAS PROC SGPLOT) e independência dos resíduos (SAS PROC SGPLOT) também foram verificadas e não apresentaram problemas. O nível de significância considerado foi de 0.05 de probabilidade.

## 6.4 RESULTADOS

### 6.4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA

A inclusão de *T. diversifolia* influenciou a composição químico-bromatológica das silagens de capim-elefante, exceto para a MS, a qual não apresentou diferenças estatísticas significativas ( $p = 0,2395$ ) entre os tratamentos (Tabela 21).

Tabela 21 - Composição químico-bromatológica de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>				p-valor	Lin	Quad
	0%	30%	50%	100%			
pH	3,74 <sup>c</sup>	3,87 <sup>b</sup>	3,91 <sup>b</sup>	4,04 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,0908
MS, %	18,72	19,04	18,29	18,44	0,2395	-	-
MM, % MS	11,52 <sup>b</sup>	11,59 <sup>b</sup>	11,64 <sup>b</sup>	12,46 <sup>a</sup>	0,0018	0,0004	0,0656
FDN, % MS	55,25 <sup>a</sup>	50,11 <sup>b</sup>	48,46 <sup>b</sup>	40,20 <sup>c</sup>	<.0001	-	-
FDA, % MS	28,75 <sup>a</sup>	24,72 <sup>b</sup>	22,43 <sup>b</sup>	15,71 <sup>c</sup>	<.0001	<.0001	0,415
CS, % MS	3,03 <sup>d</sup>	3,99 <sup>c</sup>	4,84 <sup>b</sup>	6,45 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,8124
PB, % MS	6,56 <sup>c</sup>	9,35 <sup>b</sup>	10,34 <sup>b</sup>	13,19 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,0917
PS, % MS	47,67 <sup>a</sup>	45,50 <sup>b</sup>	44,82 <sup>b</sup>	44,14 <sup>b</sup>	<.0001	<.0001	0,0081
EE, % MS	1,59 <sup>b</sup>	1,80 <sup>a</sup>	1,78 <sup>a</sup>	1,89 <sup>a</sup>	0,0010	0,0002	0,0919
Lignina, % MS	5,01 <sup>a</sup>	4,74 <sup>a</sup>	4,33 <sup>ab</sup>	2,90 <sup>b</sup>	0,0044	0,0006	0,3165
Amido, % MS	7,04 <sup>c</sup>	8,23 <sup>b</sup>	8,72 <sup>b</sup>	9,85 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,2205
DMS, % MS	55,86 <sup>d</sup>	59,39 <sup>c</sup>	60,49 <sup>b</sup>	65,12 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,1951
NDT	51,40 <sup>d</sup>	54,13 <sup>c</sup>	55,32 <sup>b</sup>	59,53 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,8924
Mcal/kg MS							
EM	1,80 <sup>d</sup>	1,94 <sup>c</sup>	1,98 <sup>b</sup>	2,17 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,4433
mg/kg MS							
Cálcio, % MS	0,40 <sup>c</sup>	0,46 <sup>bc</sup>	0,53 <sup>b</sup>	1,02 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,0001
Ferro, % MS	95,13 <sup>a</sup>	55,28 <sup>ab</sup>	50,59 <sup>ab</sup>	3,52 <sup>b</sup>	0,0066	0,0008	0,7837
Fósforo, % MS	0,20 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,0002	<.0001	0,0077
Magnésio, % MS	0,24 <sup>c</sup>	0,27 <sup>bc</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,39 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,184
Zinco, % MS	0,004 <sup>b</sup>	0,004 <sup>b</sup>	0,004 <sup>b</sup>	0,005 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,0392

Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância.

<sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; MS - matéria seca corrigida; MM - material mineral; FDN - fibra em detergente neutro; FDA - fibra em detergente ácido; CS - carboidratos solúveis; PB - proteína bruta; PS - Proteína solúvel; EE - extrato etéreo; DMS - digestibilidade da matéria seca; NDT- nutrientes digestíveis totais; EM - energia metabolizável.

<sup>2</sup>0% - silagem exclusiva de capim-elefante cv. King Grass; 30% - silagem de capim-elefante cv. King Grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - silagem de capim-elefante cv. King Grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% - silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*.

A inclusão crescente de *T. diversifolia* nas silagens de capim-elefante cv. King Grass resultou em aumento linear ( $p < .0004$ ) nos teores de matéria mineral, carboidratos solúveis (CS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), amido, digestibilidade da matéria seca (DMS), nutrientes digestíveis totais (NDT) e

energia metabolizável (EM), bem como o pH. Em contrapartida, relação negativa ( $p < 0,0006$ ) foi observada nas variáveis fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína solúvel (PS) e lignina, com maiores valores sendo observados nas silagens exclusivas de capim-elefante.

A concentração de minerais também foi significativamente influenciada pela inclusão crescente de *T. diversifolia* ( $p < 0,0008$ ), a qual elevou os níveis de cálcio, fósforo, magnésio e zinco. Por outro lado, as silagens de *T. diversifolia* (tratamento 100%) apresentaram -96% de ferro em comparação às silagens de capim-elefante (tratamento 0%).

Sobre os compostos secundários (Tabela 22), quanto maior a proporção de *T. diversifolia*, maiores foram as concentrações ( $p < 0,0033$ ) de esteróis, taninos totais (TT) e taninos condensados (TC), sendo esse último o mais expressivo, com aumento de 76,11%.

Tabela 22 - Compostos secundários de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

Variáveis, % MS <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>				p-valor	Lin	Quad
	0%	30%	50%	100%			
Alcaloides	1,01 <sup>a</sup>	0,74 <sup>b</sup>	6,45 <sup>c</sup>	4,70 <sup>d</sup>	<.0001	<.0001	<.0001
Esteróis	0,37 <sup>c</sup>	0,44 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>	0,55 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,7801
Fenóis	1,42	1,32	1,33	1,33	0,1455	-	-
Saponinas	1,53 <sup>a</sup>	1,14 <sup>b</sup>	1,19 <sup>b</sup>	1,20 <sup>b</sup>	<.0001	<.0001	<.0001
TT	0,57 <sup>c</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,78 <sup>a</sup>	<.0001	<.0001	0,8599
TC	0,18 <sup>b</sup>	0,22 <sup>ab</sup>	0,17 <sup>b</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,0074	0,0033	0,1515

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância.

<sup>1</sup>TT – tanino total; TC – tanino condensado.

<sup>2</sup>0% – silagem exclusiva de capim-elefante cv. King Grass; 30% – silagem de capim-elefante cv. King Grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - silagem de capim-elefante cv. King Grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*.

Entretanto, os teores de alcaloides e saponinas foram influenciados negativamente ( $p < .0001$ ) pelas inclusões de *Tithonia*. A silagem exclusiva de capim-elefante apresentou teores de saponinas 22,81% superiores à média dos demais tratamentos. Da mesma forma, os teores de alcaloides reduziram linearmente ( $p < .0001$ ) com o aumento da proporção de *T. diversifolia*, sendo 2 x inferiores àqueles observados na silagem exclusiva de capim-elefante de maior concentração desse composto.

#### 6.4.2 ASSOCIAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICO-BROMATOLÓGICOS E COMPOSTOS SECUNDÁRIOS

De acordo com a Figura 7, o primeiro componente principal (Componente 1) explicou 69,69% da variabilidade total dos dados, enquanto o segundo componente principal (Componente 2) foi responsável por 11,94% da variância, totalizando 81,63% da explicação conjunta da variabilidade observada.

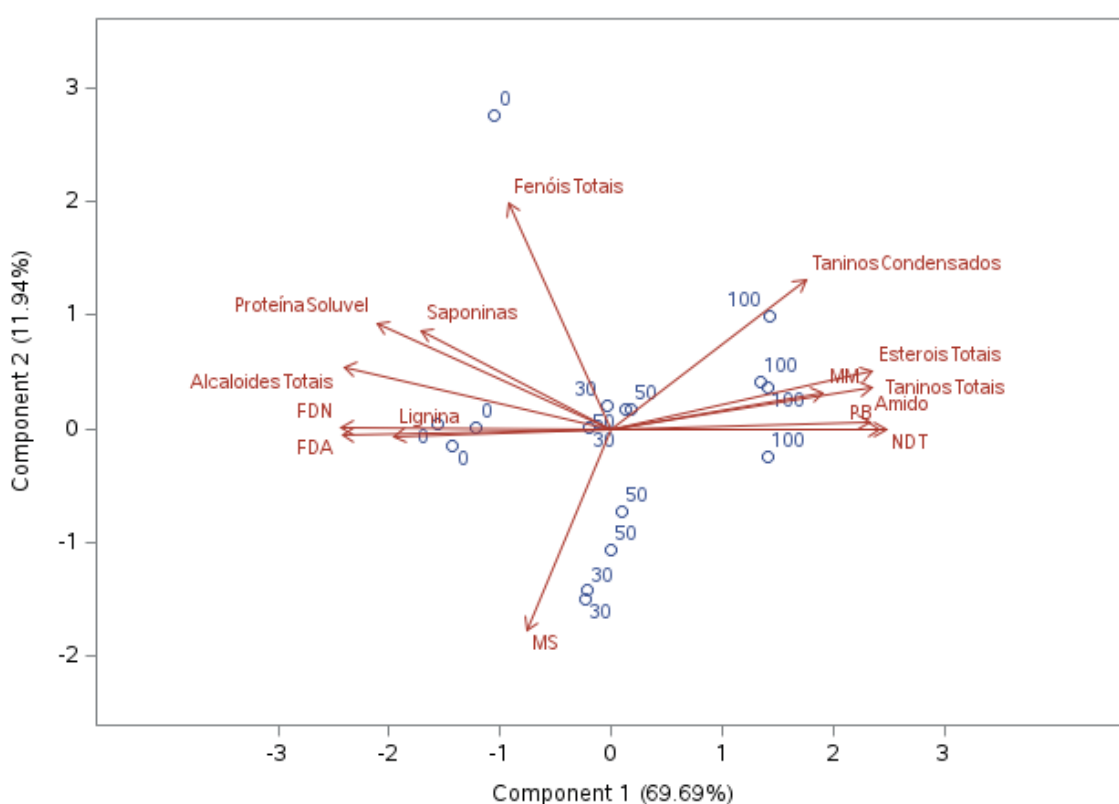


Figura 7 - Biplot da Análise de Componentes Principais (ACP) de parâmetros químico-bromatológicos e compostos secundários de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

O Componente 1 apresentou forte associação com variáveis nutricionais, como a PB e o NDT, além dos TT, TC e esteróis. Esse quadrante corresponde aos tratamentos com maior inclusão de *T. diversifolia* (100% e 50%), os quais estão associados a maior densidade nutricional e presença de compostos bioativos. O ângulo entre os vetores demonstrou três nítidos grupos: (i) alta

correlação entre PB, NDT e amido; (ii) alta correlação entre MM, TT e esteróis e; (iii) TC como uma variável independente das demais.

Por sua vez, o Componente 2, destacado no quadrante superior esquerdo do gráfico, foi mais influenciado por variáveis como, fenóis, alcaloides, PS, FDN e FDA. Essas variáveis sugerem uma composição intermediária, tanto em valor nutricional quanto em relação à presença de compostos secundários, observada nas silagens exclusivas de capim-elefante e naquelas de maior proporção dessa planta (30%). Os fenóis não apresentaram correlação com nenhuma outra variável; enquanto os alcaloides, saponinas, PS, FDN, FDA e lignina indicaram alta correlação entre si.

Em geral, a MS apresentou correlação negativa com os compostos secundários, especialmente fenóis e saponinas.

#### 6.4.3 PRODUÇÃO RUMINAL DE GASES *IN VITRO*

Os parâmetros de produção total de gases e de metano *in vitro* estão apresentados na Tabela 23. Dentre as variáveis avaliadas, apenas o ponto de inflexão da produção de gases apresentou diferença significativa entre os tratamentos ( $p = 0,0008$ ), onde a silagem exclusiva de capim-elefante foi 6,56 mL/gMS superior à média das demais. Essa mesma variável também apresentou efeito linear ( $p = 0,0399$ ) e quadrático ( $p = 0,0011$ ), evidenciando que a inclusão de *T. diversifolia* modificou o padrão de fermentação, com redução do ponto de inflexão à medida em que se aumentou a proporção dessa planta nas silagens.

Tabela 23 - Parâmetros de produção ruminal de gases *in vitro* de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

Variáveis, mL/g MS	Tratamentos <sup>1</sup>				EPM <sup>2</sup>	p-valor	Lin	Quad
	0%	30%	50%	100%				
<b>Produção de gases</b>								
Parâmetro a (Volume total)	219,58	218,08	196,43	177,61	22,19	0,2009	0,0415	0,8478
Parâmetro b (Ponto de inflexão)	15,12 <sup>a</sup>	7,12 <sup>b</sup>	8,77 <sup>b</sup>	9,78 <sup>b</sup>	1,49	0,0008	0,0399	0,0011
Parâmetro k (Taxa de degradação)	0,096	0,084	0,089	0,097	0,01	0,7830	0,7805	0,3721
<b>Produção de metano</b>								
Parâmetro a (Produção tempo 0)	9,61	7,53	2,15	-5,95	5,51	0,1938	0,0343	0,8287
Parâmetro b (Taxa de produção)	3,53	3,64	2,93	2,65	1,06	0,8968	0,5036	0,9610

Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível 5% de significância.

g MS = grama de matéria seca da amostra incubada.

<sup>1</sup>0% – Silagem exclusiva de King Grass; 30% – Silagem de King grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - Silagem de King grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*.

<sup>2</sup>EPM – erro padrão da média.

Embora não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o volume total de gases e volume total de metano, nota-se um efeito linear decrescente ( $p = 0,0415$  e  $p = 0,0343$ , respectivamente) conforme aumentou a inclusão de *T. diversifolia* nas silagens.

A produção acumulada de gases *in vitro* aumentou de forma exponencial nas primeiras horas, estabilizando-se a partir de 40 horas de incubação (Figura 8). Embora iniciada com maiores valores, observou-se que, ao final, a inclusão de *T. diversifolia*, principalmente nos tratamentos 50% e 100%, produziu em média cerca de -15% de gases em relação ao tratamento 0% (apenas capim-elefante).

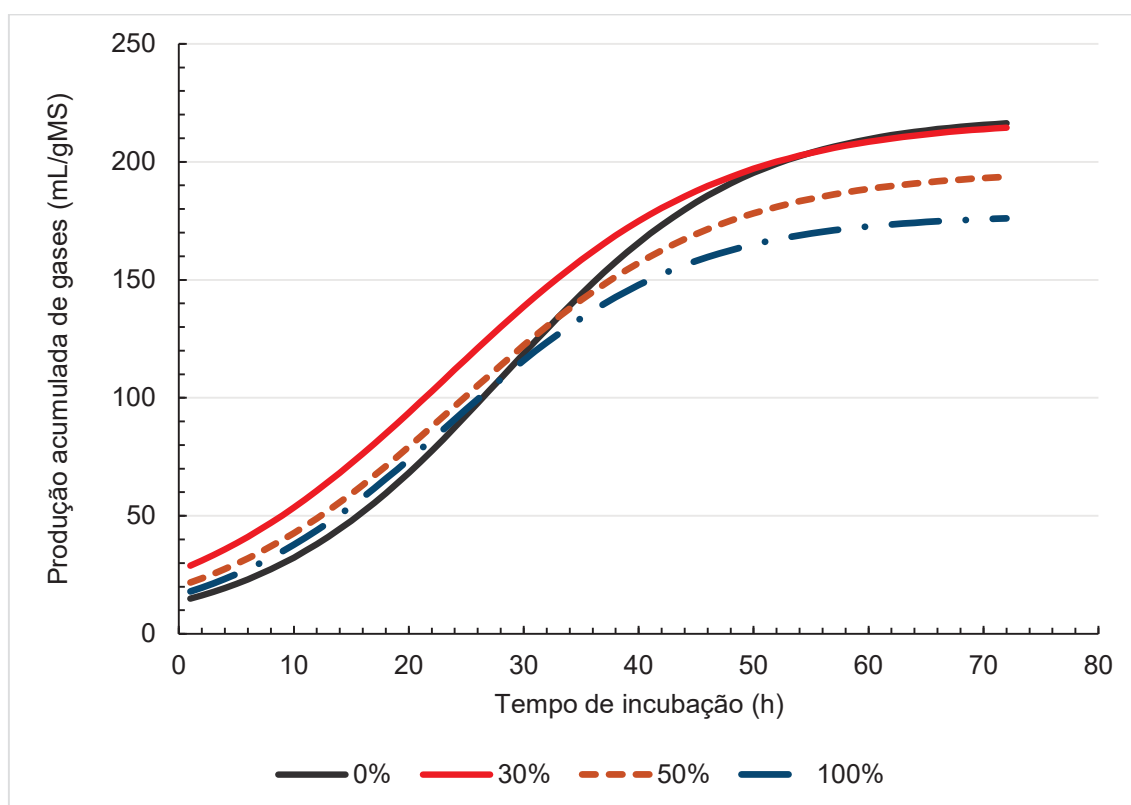


Figura 8 - Curva de produção acumulada de gases de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas, em relação ao tempo de incubação (h). 0% – silagem exclusiva de capim-elefante cv. King Grass; 30% – silagem de capim-elefante cv. King Grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - silagem de capim-elefante cv. King Grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*.

A produção acumulada de metano *in vitro* também se comportou de maneira semelhante ao longo das 72 horas do período de incubação (Figura 9).

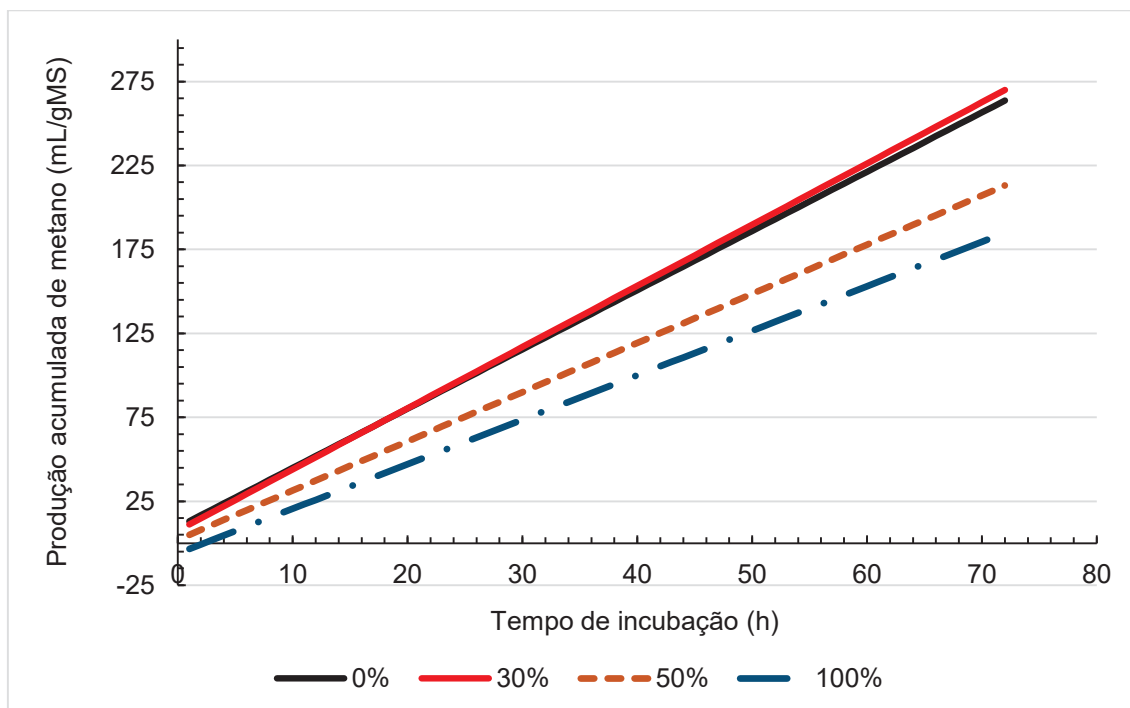


Figura 9 - Curva de produção acumulada de metano de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas, em relação ao tempo de incubação (h). 0% – Silagem exclusiva de King Grass; 30% – Silagem de King grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - Silagem de King grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*.

De acordo com a Figura 9, a produção acumulada de metano aumentou linearmente ao longo do tempo de incubação para todos os tratamentos. Entretanto, ao final do período (72 h), observou-se uma diferença expressiva entre os tratamentos: as silagens com 0% e 30% de inclusão de *T. diversifolia* apresentaram as maiores produções acumuladas (269,92 e 266,28 mL/g MS, respectivamente), enquanto as silagens com maior proporção da planta (50% e 100%) apresentaram reduções marcantes, com valores finais de 230,52 e 218,97 mL/g MS, respectivamente.

#### 6.4.4 PARÂMETROS DE FERMENTAÇÃO RUMINAL

A adição de *T. diversifolia* às silagens de capim-elefante não promoveu alterações significativas ( $p > 0,05$ ) para os padrões de fermentação ruminal avaliados (Tabela 24).

Tabela 24 - Padrões de fermentação ruminal *in vitro* de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamentos <sup>2</sup>				EPM <sup>3</sup>	p-valor
	0%	30%	50%	100%		
pH	6,68	6,69	6,60	6,72	0,0541	0,4346
Dig. Potencial, % MS	57,82	59,91	59,39	59,63	1,2470	0,4217
N-NH <sub>3</sub> , mg/100mL	51,56	50,69	49,56	52,78	3,2011	0,7495

<sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; Dig. Potencial – digestibilidade potencial; N-NH<sub>3</sub> – nitrogênio amoniacal.

<sup>2</sup>0% – Silagem exclusiva de King Grass; 30% – Silagem de King grass + 30% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 50% - Silagem de King grass + 50% de inclusão de *Tithonia diversifolia*; 100% – silagem exclusiva de *Tithonia diversifolia*. <sup>3</sup>EPM – erro padrão da média.

Tabela 25 - Equação de regressão, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e erro médio quadrático (RMSE) das variáveis química-bromatológicas, compostos secundários e produção de gases de silagens de capim-elefante cv. King Grass e de *Tithonia diversifolia*, exclusivas ou combinadas.

Variáveis <sup>1</sup>	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	RMSE <sup>3</sup>
pH	Y= 3.76 + 0.0029	0,92	0,032
MM, % MS	Y= 11.37+0.010x	0,60	0,310
FDA, % MS	Y= 29.40-0.139x	0,95	1,183
CS, % MS	Y= 3.03+0.034x	0,96	0,265
PB, % MS	Y= 6.96+0.064x	0,93	0,693
PS, % MS	Y= 47.64-0.082x+0.00047x <sup>2</sup>	0,83	0,658
EE, % MS	Y= 55.17-0.148x	0,93	1,618
Lignina, % MS	Y= 5.23-0.022x	0,92	0,664
Amido, % MS	Y= 7.23+0.027x	0,84	0,459
DMS, % MS	Y= 56.15+0.09x	0,98	0,522
NDT, Mcal/kg MS	Y= 51.49+0.08x	0,98	0,419
EM, mg/kg MS	Y= 1.82+0.004x	0,98	0,019
<i>Minerais</i>			
Cálcio	Y=0.40-0.0006x+0.00007x <sup>2</sup>	0,96	0,055
Ferro	Y= 90.73-0.880x	0,61	27,445
Fósforo	Y=0.20+0.001x-0.000007x <sup>2</sup>	0,78	0,010
Magnésio	Y= 0.24+0.0015x	0,85	0,024
Zinco	Y= 45.77+0.004x-0.0006x <sup>2</sup>	0,85	1,106
<i>Compostos secundários</i>			
Alcalóides	Y=10.08-0.097x+0.00043x <sup>2</sup>	0,98	0,283
Esteróis	Y=3.81+0.017x	0,82	0,303
Saponinas	Y=15.08-0.12x+0.0009x <sup>2</sup>	0,80	0,801
Taninos Totais	Y=7.23+0.027x	0,84	0,459
Taninos Condensados	Y=1.69+0.013x	0,42	0,58
<i>Produção de gases, mL/gMS</i>			
Volume total de gases	Y=222.14-0.453x	0,09	55,453
Ponto de inflexão	Y=14.31-0.25x+0.002x <sup>2</sup>	0,26	4,742
Volume total de metano	Y=10.0-0.15x	-	-

<sup>1</sup>pH - potencial hidrogeniônico; MS - matéria seca corrigida; MM – Material mineral; CS - Carboidratos solúveis; FDN – Fibra em detergente neutro; FDA - Fibra em detergente ácido; PB – Proteína bruta; PS- Proteína solúvel; EE – Extrato etéreo; DMS- Digestibilidade da matéria seca; NDT- nutrientes digestíveis totais; EM – Energia metabolizável. <sup>2</sup>R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação.

<sup>3</sup>RMSE - erro médio quadrático.

## 6.5 DISCUSSÃO

### 6.5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA

Houve aumento linear do pH com a inclusão de *T. diversifolia* (Tabela 21), embora todos os valores tenham permanecidos dentro da faixa adequada para silagens (< 4,2), preconizado por McDonald et al. (1991). Este resultado é coerente com o elevado poder tampão da *Tithonia*, o qual pode dificultar a redução do pH durante a fermentação da silagem, estabilizando-o em níveis mais elevados (Holguín et al., 2021). Esse efeito tamponante está associado à maior concentração de minerais e compostos secundários, especialmente taninos, observados neste estudo, os quais atuam como tamponantes naturais e inibem parcialmente a atividade das bactérias ácido-láticas (Gonzalez et al., 2021).

Como esperado, a PB aumentou de acordo com o nível de inclusão de *T. diversifolia*. Esse incremento está diretamente relacionado à composição bromatológica da planta, caracterizada por maior concentração de proteína, especialmente nas folhas, associada a um elevado teor de compostos nitrogenados e menor proporção de parede celular (Odedire et al., 2014; Holguín et al., 2020). Resultado semelhante também foi reportado por Gutierrez et al. (2014) quando avaliaram a inclusão de 20% de *T. diversifolia* em silagens de capim-elefante cv. Cuba CT-169, e encontraram valores de 7,79% de PB. Além disso, a menor lignificação dessa planta, também observada em nosso estudo, contribui para um melhor aproveitamento da fração proteica (Odedire et al., 2014; Holguín et al., 2020).

Também foi observada redução na proteína solúvel (PS) com o aumento da inclusão de *T. diversifolia*. Essa fração representa a porção de proteína rapidamente degradável no rúmen, o que é vantajoso para a rápida fermentação microbiana. No entanto, níveis elevados (> 65%) de PS podem levar a perdas por desaminação, caso não haja adequada sincronização com fontes de energia fermentável, como carboidratos solúveis (NRC, 2001). Ainda assim, os valores observados neste estudo permaneceram dentro da faixa recomendada, sem comprometer a estabilidade da proteína.

Os teores de FDN, FDA e lignina reduziram à medida em que aumentaram as inclusões. Tal efeito é atribuído à menor participação de parede celular em plantas do tipo C3, como a *T. diversifolia*, quando comparadas às gramíneas tropicais C4, como o capim-elefante, que apresentam parede celular mais espessa e elevada concentração de componentes fibrosos (Holguín et al., 2021). De forma semelhante,

Holguín et al. (2020) observaram que a inclusão crescente de *T. diversifolia* (33%, 67% e 100%) em silagens de *C. purpureus* resultou em reduções de 39,72% e 40,92% nos teores de FDN e FDA, respectivamente.

Essa característica confere à *Tithonia* maior digestibilidade e valor nutritivo, corroborado pelo aumento linear dos valores de NDT e DMS dos tratamentos com maiores níveis de inclusão dessa planta, evidenciando o melhor aproveitamento dos nutrientes da silagem com inclusão da *T. diversifolia*. Vale destacar que os valores de DMS obtidos neste estudo superaram os relatados por Gonzalez et al. (2021), que observaram média de 49,16% ao avaliarem diferentes doses de *T. diversifolia* na ensilagem de *C. purpureus*.

Como consequência dessas alterações, a energia metabolizável (EM) apresentou incremento linear de 1,80 para 2,17 Mcal/kg MS, refletindo não apenas a maior digestibilidade dos componentes da silagem, mas também o aumento nos teores de compostos com potencial energético, como o EE, o amido e os carboidratos solúveis (CS). Embora a *T. diversifolia* não seja uma fonte tradicional de carboidratos não fibrosos, esse acréscimo pode ser atribuído à maior proporção de açúcares simples presentes nas folhas das plantas em estágios mais jovens, ao menor grau de polimerização dos carboidratos estruturais e à menor lignificação da parede celular (Muck et al., 2018).

O aumento desses componentes tem inúmeros benefícios para a dieta de ruminantes, como, por exemplo, o fato de o amido contribuir com a maior produção de propionato e eficiência energética pelos microrganismos ruminais (Moraes et al., 2014; Haque, 2018); os CS são fundamentais para a fermentação láctica da silagem e servem como fonte rápida de energia para a microbiota ruminal (McDonald et al., 1991); e o EE, que além de representar uma fração energética, contribui para a palatabilidade da dieta, e pode auxiliar na melhoria da eficiência alimentar, desde que mantido dentro de níveis seguros (<6–7% da MS), conforme recomendado pelo NRC (2001).

A elevação linear da matéria mineral em função dos níveis crescentes de inclusão da *T. diversifolia* está diretamente relacionada ao aumento dos macros e microminerais nessas silagens, como o cálcio, fósforo, magnésio e zinco. Esses minerais são essenciais para funções fisiológicas e fermentação microbiana, além de estarem associados a melhores parâmetros reprodutivos e produtivos em ruminantes (Ferreira et al., 2023). Esse incremento pode ser atribuído à elevada capacidade de

acúmulo de minerais, especialmente quando cultivada em solos férteis ou bem manejados. A espécie é reconhecida por sua eficiência na absorção e translocação de nutrientes, em especial cálcio, magnésio e fósforo para os tecidos foliares (Reis et al., 2016). Contudo, os valores encontrados estão abaixo dos relatados por Gallego-Castro et al. (2017), que encontraram valores mais elevados de cinzas (média = 15,89% da MS) em *T. diversifolia* aos 56 dias, porém com menores valores de cálcio (2,94%) e maiores de fósforo (0,26%).

Por outro lado, o teor de ferro apresentou uma redução acentuada com o aumento da proporção de *Tithonia*. Embora o ferro não seja exigido em grandes quantidades pelos ruminantes, concentrações excessivas podem prejudicar a absorção de outros minerais, como o cobre e o fósforo. De acordo com o NRC (2001), vacas leiteiras em alta produção (acima de 30 kg/dia) requerem aproximadamente 50 mg de ferro por kg de matéria seca. Assim, os tratamentos com inclusão de 30% e 50% de *T. diversifolia* apresentaram níveis adequados de ferro, atendendo às exigências nutricionais sem exceder concentrações que poderiam comprometer o balanço mineral.

#### 6.5.2 COMPOSTOS SECUNDÁRIOS

Dentre os compostos que apresentaram redução conforme se aumentou a inclusão de *Tithonia* estão os alcaloides e as saponinas. A concentração de alcaloides decresceu linearmente, o que pode estar associado ao menor teor natural desses compostos na biomassa da *T. diversifolia* quando comparada ao capim-elefante, conforme observado em gramíneas tropicais com maior síntese de compostos nitrogenados secundários (Borges e Amorim, 2020). Ainda que alguns alcaloides possam ser instáveis em ambientes ácidos e sujeitos à degradação durante a fermentação anaeróbia (Harborne, 1997), os dados indicam que as silagens mais ácidas apresentaram, na verdade, maiores concentrações desses compostos. Isso sugere que a diferença nos teores pode estar mais associada à composição original da forragem do que à ação da fermentação propriamente dita. Embora possua propriedades antimicrobianas, esse composto pode ter efeitos tóxicos em altas concentrações, sendo desejável sua modulação em dietas para ruminantes.

Efeito semelhante foi observado sobre os teores de saponinas. Apesar, dessas substâncias estarem amplamente distribuídas em espécies arbóreas tropicais, o padrão observado sugere que o capim-elefante possui maior concentração dessas moléculas do que a *T. diversifolia* (Tabela 20). A redução de saponinas pode ser

benéfica sob o ponto de vista nutricional, uma vez que, em níveis elevados, apresentam efeito antinutricional, inibindo enzimas digestivas e afetando a palatabilidade. Em contrapartida, em concentrações moderadas, as saponinas são conhecidas por reduzir a população de protozoários ruminais, contribuindo para a menor produção de metano entérico (Patra e Saxena, 2011; Goel e Makkar, 2012).

Por outro lado, a inclusão de *T. diversifolia* elevou significativamente os teores de esteróis, taninos totais e taninos condensados nas silagens. O incremento dos esteróis pode estar relacionado ao maior conteúdo lipídico da folha de *T. diversifolia*, uma vez que os esteróis fazem parte da fração insaponificável dos lipídios vegetais (Piironen et al., 2000).

O aumento dos taninos também era esperado, considerando que a *T. diversifolia* é reconhecida por apresentar níveis naturalmente mais elevados desses compostos, devido à sua natureza arbustiva e ao perfil químico típico de plantas do tipo C3, que frequentemente acumulam maiores teores de metabólitos secundários, quando comparadas às gramíneas tropicais do tipo C4. Os taninos são compostos fenólicos com potencial de modular o metabolismo ruminal, reduzir a produção de metano e proteger a fração proteica da degradação excessiva no rúmen (Patra e Yu, 2015). Além disso, os níveis de taninos condensados encontrados no presente estudo se encontram dentro da faixa segura (< 5% da MS) para não prejudicarem o aproveitamento dos nutrientes pelos ruminantes (García et al., 2006; Lezcano et al., 2012).

## 6.6 ASSOCIAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICO-BROMATOLÓGICOS E COMPOSTOS SECUNDÁRIOS

As correlações encontradas entre os parâmetros plotados corroboram com os resultados anteriormente discutidos. O agrupamento dos tratamentos de maior inclusão de *Tithonia* (50% e 100%) no Componente 1 foi definido pelas variáveis NDT, esteróis e taninos condensados, bem como suas respectivas correlações, o que reforça a melhora nutricional promovida pela *T. diversifolia*, e também observada em outros estudos (Odiere et al., 2014; Holguín et al., 2021). No entanto, o Componente 2, ocupado em sua maioria pelas silagens exclusivas de capim-elefante, foi fortemente influenciado pelas concentrações de fenóis, alcaloides e FDN, e suas respectivas correlações com outras variáveis de menor impacto.

A dispersão das variáveis no gráfico revela que taninos, saponinas e proteína solúvel, embora relacionados aos tratamentos com maior inclusão de *T. diversifolia*, não apresentam associação direta entre si, conforme indicado pelas diferentes direções de seus vetores. No entanto, sua proximidade em relação aos tratamentos com 100% de inclusão sugere que esses compostos estão mais concentrados nas silagens com maior proporção da *Tithonia*. Já a correlação negativa observada entre matéria seca e fenóis totais pode estar relacionada à maior proporção de folhas nas amostras com alto teor de *T. diversifolia*, uma vez que essas estruturas são mais ricas em compostos fenólicos e apresentam maior umidade, o que explica a redução da MS nessas silagens.

De modo geral, a organização espacial das variáveis permite inferir que a substituição parcial ou total do capim-elefante por *T. diversifolia* promove não apenas alterações isoladas, mas um reajuste global da composição química e bromatológica das silagens. Isso reforça a necessidade de considerar os efeitos conjugados entre qualidade nutricional e compostos secundários ao formular dietas mistas com espécies forrageiras não convencionais.

## 6.7 PRODUÇÃO DE GASES E PARÂMETROS FERMENTATIVOS RUMINAIS *IN VITRO*

Houve diferenças significativas entre os pontos de inflexão das curvas de produção de gases das silagens que possuíam ou não *Tithonia*, independentemente do nível de inclusão. Isto é, evidenciou-se a menor capacidade de fermentação ruminal das silagens com *T. diversifolia*. Tal comportamento pode ser atribuído à composição nutricional dessas silagens que, em geral, apesar do maior teor de carboidratos solúveis nas silagens com *Tithonia*, a presença de compostos secundários como taninos e esteróis podem ter inibido a atividade microbiana ruminal, resultando em menor produção de gases e fermentabilidade da matéria seca (Mueller-Harvey, 2006; Rivera et al., 2015).

A redução linear na produção de metano com o aumento da inclusão de *T. diversifolia* sugere uma ação inibitória sobre as populações metanogênicas, atribuída aos compostos bioativos (Patra e Saxena, 2011; Jayanegara et al., 2015). Embora a menor produção de metano seja, muitas vezes, associada à menor degradação da fibra e, portanto, à redução da eficiência energética da dieta (Beauchemin et al., 2009), essa relação pode ser alterada na presença de compostos secundários com

propriedades antimicrobianas. Esses metabólitos — como os presentes na *T. diversifolia* — quebram a relação convencional entre fermentação e metanogênese, ao inibirem especificamente os microrganismos responsáveis pela produção de metano, sem comprometer a digestibilidade. No presente estudo, isso é evidenciado pelo aumento significativo na digestibilidade da matéria seca (DMS) mesmo com a redução do metano, reforçando que o efeito metanogênico observado decorre da modulação microbiana, e não de uma limitação na fermentação ruminal.

A cinética da produção acumulada de gases (Figura 8) demonstra que o volume produzido está altamente correlacionado à degradação do substrato (Blümmel et al., 1997). De acordo com Pérez-Márquez et al. (2023) e como observado em nosso estudo, nota-se que nos primeiros tempos de incubação predomina o uso de carboidratos rapidamente fermentáveis como substrato, o que é representado pela baixa produção de gases das silagens exclusivas de capim-elefante. Ao passar do tempo, a produção de gases está mais associada ao conteúdo de fibra e lignina, encontrada nas silagens com menor proporção de *Tithonia*.

Estudos anteriores com a inclusão de *T. diversifolia* em dietas ou silagens também relataram padrões de redução na produção de gases e tendência à menor emissão de metano, especialmente quando a planta era utilizada em maiores proporções (González et al., 2021). No entanto, resultados na literatura, como os observados por Maurício et al. (2014) e Botero-Londoño et al. (2015), indicam que esse efeito não é universal e pode depender de fatores como o estágio de maturação da planta, manejo da forragem, tipo de dieta basal ou ambiente de fermentação. Esses aspectos ajudam a contextualizar os resultados do presente estudo, no qual, apesar da redução numérica na produção de metano com o aumento da inclusão de *T. diversifolia*, não foi observada diferença estatística significativa. Ainda assim, os dados acompanham a tendência já descrita na literatura para dietas com espécies C3 menos lignificadas e ricas em compostos bioativos, que modulam a microbiota ruminal e podem influenciar na metanogênese (Patra e Saxena, 2011; Archimède et al., 2011).

Os resultados reforçam que a inclusão crescente de *T. diversifolia* pode melhorar a qualidade nutricional de silagens de capim-elefante e modular positivamente o ambiente ruminal, reduzindo linearmente o volume de metano sem comprometer os parâmetros de fermentação ruminal *in vitro*, como o pH, a digestibilidade potencial e a concentração de N-NH<sub>3</sub>.

## 6.8 CONCLUSÃO

A inclusão de *T. diversifolia* melhorou a qualidade nutricional de silagens de capim-elefante, promovendo maiores valores de proteína bruta e energia metabolizável, melhor digestibilidade, e redução das frações fibrosas. As proporções de 30% a 50% de inclusão se mostraram mais adequadas para a obtenção de silagens equilibradas, conciliando composição química, valor nutricional e menor produção de gases.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Nacional da Colômbia, sede Palmira, pela infraestrutura para a realização da pesquisa, e à Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária (Agrosavia) para a realização das análises.

## 6.9 REFERÊNCIAS

- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. AOAC International, Washington, DC.
- Archimède, H., Eugène, M., Magdeleine, C. M., Boval, M., Martin, C., Morgavi, D. P., ... & Doreau, M. (2011). Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>
- Ariza Nieto, C., Mojica, B., Parra, D., Mayorga, O. L., & Afanador, G. (2018). Implementation of the LOCAL algorithm with near-infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems of dairy cattle in Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22111>
- Beauchemin, KA, McAllister, TA, & McGinn, SM (2009). Mitigação dietética de metano entérico de bovinos. *Revisões CABI*, (2009), 1-18. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR2009403>
- Blümmel, M., Steingäß, H., & Becker, K. (1997). The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77(6), 911-921. <https://doi.org/10.1079/BJN19970089>

Cárdenas, B. J. A & Flores, L. C. (2012). Emissão de metano entérico por ruminantes e sua contribuição para o calor global e para a mudança climática: Revisão. *Revista mexicana de ciências pecuárias*, 3 (2), 215-246. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711242012000200006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711242012000200006&script=sci_arttext)

Borges, L. P., & Amorim, V. A. (2020). Metabólitos secundários de plantas. *Revista Agrotecnologia-Agrotec*, 11(1), 54-67. <https://www.srvojs.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9705>.

Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273-288. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>

Chagas-Paula, D. A., Oliveira, R. B., Rocha, B. A., & Da Costa, F. B. (2012). Ethnobotany, chemistry, and biological activities of the genus *Tithonia* (Asteraceae). *Chemistry & Biodiversity*, 9(2), 210-235. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>

Ferreira, S. J. M., de Almeida Araújo, C., dos Santos Pessoa, R. M., Costa Gois, G., Sena Campos, F., Almeida Vicente, S. L., ... & Oliveira Lima, D. (2023). Vitaminas e minerais na nutrição de bovinos. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 15(2). <https://doi.org/10.24188/recia.v15.n2.2023.969>

Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2014). Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl: A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 393-403. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S165913212014000200017](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S165913212014000200017)

García, D., M. Medina, J. Humbría, C. Domínguez, A. Baldizán, L. Cova, e M. Soca. (2006). Composição proximal, níveis de metabólitos secundários e valor nutritivo da folhagem de algumas árvores forrageiras tropicais. *Arco. Zootec*. 55:373-384. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49521205.pdf>

Goel, G., & Makkar, HP (2012). Mitigação de metano em ruminantes usando taninos e saponinas. *Saúde e produção de animais tropicais*, 44, 729-739. <https://doi.org/10.1007/s11250-011-9966-2>

Goering, HK, & Van Soest, PJ (1970). Análises de fibras forrageiras (aparelhos, reagentes, procedimentos e algumas aplicações) (nº 379). Serviço de Pesquisa Agrícola dos EUA.

González, MAH, Mogollón, OLM, Saavedra, YMG, Castaño, VAH e Mora-Delgado, J. (2020). Produção *in vitro* de metano a partir de silagens à base de *Cenchrus purpureus* misturadas com *Tithonia diversifolia* em diferentes proporções. *Acta Scientiarum. Ciências Animais*, 43, e51322. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.51322>

Gutiérrez, D., Morales, A., Elías, A., López, RG, & Sarduy, L. (2014). Composição química e degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca em silagens mistas de *Tithonia diversifolia*: *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169, inoculado com VITAFERT. *Revista Cubana de Ciências Agrárias*, 48 (4). <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193033033012.pdf>

Haque, M. N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of animal science and technology*, 60, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>

Harborne, JB (1977). Flavonoides e a evolução das angiospermas. *Biochemical Systematics and Ecology*, 5 (1), 7-22. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(77\)90013-8](https://doi.org/10.1016/0305-1978(77)90013-8)

Hatew, B., Cone, JW, Pellikaan, WF, Podesta, SC, Bannink, A., Hendriks, WH, & Dijkstra, J. (2015). Relação entre a produção de metano *in vitro* e *in vivo* medida simultaneamente com diferentes fontes de amido na dieta e níveis de amido em gado leiteiro. *Ciência e Tecnologia da Alimentação Animal*, 202, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.01.012>

Holguín, V., Huertas, A., Fandiño, C., & Mora-Delgado, J. 2018. Consumo voluntario y ganancia de peso en corderos alimentados con ensilaje de *Cenchrus purpureus* Schum y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 181-192. <https://doi.org/10.22490/21456453.2175>

Holguín, V. A., Cuchillo-Hilario, M., Mazabel, J., Quintero, S., & Mora-Delgado, J. (2020). Efecto de la mezcla ensilada de *Pennisetum purpureum* y *Tithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y su emisión de metano en el sistema RUSITEC. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(1), 19-37. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4740>

Holguín, V. A., Cuchillo, M., & Mora-Delgado, J. (2021). Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriquecidos con lactobacillus. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2093>

Jayanegara, A., Goel, G., Makkar, HP, & Becker, K. (2015). Divergência entre os efeitos do tanino hidrolisável purificado e do tanino condensado na emissão de metano, fermentação ruminal e população microbiana *in vitro*. *Ciência e Tecnologia da Alimentação Animal*, 209 , 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.002>

Kung, L., Jr.; Grieve, DB; Thomas, JW; Huber, JT. (1984) Amônia adicionada ou inóculos microbianos para fermentação e compostos nitrogenados de alfafa ensilada em várias porcentagens de matéria seca. *J. Dairy Sci.* 1984 , 67 , 299–306. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81302-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81302-8)

Kulasek, G.A. A micromethod for determination of urea in plasma, whole blood and blood cells using urease and phenolreagent. *Pol. Arch. Wet.*, v.15, p.801-810, 1972. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4663270/>

Lezcano, Y., M. Soca, L. Sánchez, F. Ojeda, Y. Olivera, D. Fontes, I. Montejo, e H. Santana. 2012. Caracterização qualitativa do conteúdo de metabólitos secundários na fração comestível de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos e Forrajes* 35:283-292. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942012000300004&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942012000300004&script=sci_arttext)

Lima, P. M. T., Moreira, G. D., Sakita, G. Z., Natel, A. S., Mattos, W. T., Gimenes, F. M. A., Gerdes, L., McManus, C., Abdalla, A. L., & Louvandini, H. (2018). Nutritional evaluation of the legume *Macrotyloma axillare* using *in vitro* and *in vivo* bioassays in sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(2), e669–e676. <https://doi.org/10.1111/jpn.12810>

McDonald, P.; Henderson, A. R. and Heron, S. J. E. 1991. The biochemistry of silage. 2nd ed. Chalcombe Publications,

Menke, K. H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and.

Min, BR, Barry, TN, Attwood, GT, & McNabb, WC (2003). O efeito dos taninos condensados na nutrição e saúde de ruminantes alimentados com forragens frescas de clima temperado: uma revisão. *Ciência e tecnologia da alimentação animal*, 106 (1-4), 3-19. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5)

Molina Botero, I. C., Cantet, J. M., Montoya, S., Correa Londoño, G. A., & Barahona Rosales, R. (2013). Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(2), 15-31. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190096072013000200002&script=sci\\_artext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190096072013000200002&script=sci_artext)

Moraes, L. E., Fadel, J. G., Castillo, A. R., Casper, D. P., Tricarico, J. M., & Kebreab, E. (2015). Modeling the trade-off between diet costs and methane emissions: A goal programming approach. *Journal of dairy science*, 98(8), 5557-5571. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9138>

Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung Jr, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of dairy science*, 101(5), 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>

Mueller-Harvey, I. (2006). Desvendando o enigma dos taninos na nutrição e saúde animal. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 86 (13), 2010-2037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.ed. Washington, D.C.: 2001. 381p.

Odedire J.A, and Oloidi F.F, "Feeding Wild Sunflower (*Tithonia diversifolia* Hemsl., A. Gray) to West African Dwarf Goats as a Dry Season Forage Supplement." *World Journal of Agricultural Research*, vol. 2, no. 6 (2014): 280-284. <https://doi.org/10.12691/wjar-2-6-6>.

Patra, AK, & Saxena, J. (2011). Exploração de taninos dietéticos para melhorar o metabolismo ruminal e a nutrição de ruminantes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 91 (1), 24-37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>

Patra, A. K., & Yu, Z. (2015). Essential oils affect populations of some rumen bacteria *in vitro* as revealed by microarray (RumenBactArray) analysis. *Frontiers in Microbiology*, 6, 297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00297>

Pérez-Márquez, S., Ovani, V. S., Lima, P. D. M. T., Lana, Â. M. Q., Louvandini, H., Abdalla, A. L., & Maurício, R. M. (2023). *Tithonia diversifolia* improves *in Vitro* Rumen Microbial synthesis of Sheep diets without changes in total gas and methane production. *Agronomy*, 13(11), 2768. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112768>

Piironen, V., Lindsay, DG, Miettinen, TA, Toivo, J., & Lampi, AM (2000). Esteróis vegetais: biossíntese, função biológica e sua importância para a nutrição humana. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (7), 939-966. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<939::AID-JSFA644>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<939::AID-JSFA644>3.0.CO;2-C)

Ramin, M., & Huhtanen, P. (2012). Desenvolvimento de um método *in vitro* para determinação da cinética de produção de metano usando um sistema de gás *in vitro* totalmente automatizado — Uma abordagem de modelagem. *Ciência e Tecnologia de Ração Animal*, 174 (3-4), 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.008>

Reis, M. M., Santos, L. D., Pegoraro, R. F., Colen, F., Rocha, L. M., & Ferreira, G. A. D. P. (2016). Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 1008-1013. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p1008-1013>

Rivera, J. E., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tafur, O., Hurtado, E. A., Arenas, F. A., ... & Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10), 1-13. <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>

Rodríguez-Badilla, B., Alvarez-Brito, R., & López-Herrera, M. 2022. Inclusión de *Tithonia diversifolia* sobre la calidad de ensilajes de Cuba OM22 con la adición de

Musa sp. *Nutrición Animal Tropical*, 16(2), 71-90.

<https://doi.org/10.15517/nat.v16i2.52298>

SAS Institute Inc. SAS OnDemand for Academics – SAS Studio (Version 3.81) [Statistical software]. SAS Institute Inc. 2022. Available online: <https://odamid-usw2.oda.sas.com/SASStudio/>

Valdés-Restrepo, M. P., & Ortiz-Grisales, S. (2021). Calidad de forraje y almidón en 10 clones de batata *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1580>

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell university press.

Yohai, V. J. (1987). High breakdown-point and high efficiency robust estimates for regression. *The Annals of statistics*, 642-656. <https://www.jstor.org/stable/2241331>

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados no Capítulo II demonstraram que a propagação vegetativa da *T. diversifolia* pode ser potencializada por meio de estratégias simples e de baixo custo. Observou-se que o uso de estacas mais longas (40 cm) favoreceu o desenvolvimento da parte aérea das mudas, enquanto a aplicação de bioestimulantes, especialmente o enraizador comercial, proporcionou maior vigor do sistema radicular, além de promover o aumento no teor de clorofila aos 30 dias. Esses resultados indicam que a combinação adequada entre tamanho de estacas e indutores de enraizamento pode otimizar a produção de mudas, viabilizando a expansão do cultivo da espécie em sistemas forrageiros tropicais.

No Capítulo III, observou-se que a inclusão de *T. diversifolia* na ensilagem do capim-elefante BRS Capiaçú, especialmente em combinação com o emurchecimento prévio, proporcionou melhorias importantes na composição bromatológica da silagem, como o aumento nos teores de matéria seca, proteína bruta e ácido acético. Além disso, houve incremento na estabilidade aeróbia das silagens, com destaque para os tratamentos contendo 20% de *T. diversifolia*, que se mantiveram estáveis por até 240 horas após a abertura. Contudo, os maiores teores de umidade da *Tithonia* e a fermentação mais intensa resultaram em aumentos nas perdas totais de matéria seca, demonstrando a necessidade de avaliar o custo-benefício dessa prática de forma criteriosa. A silagem mista contendo 20% de *Tithonia* em capim emurchecido mostrou-se promissora para elevar o valor proteico e a estabilidade da silagem, ainda que exigindo estratégias para minimizar perdas fermentativas.

Por fim, os resultados do Capítulo IV evidenciam que a *T. diversifolia* apresenta alto potencial promovendo melhorias significativas no valor nutricional da silagem de capim-elefante cv. King Grass. Foram observados aumentos expressivos nos teores de proteína bruta, digestibilidade e energia metabolizável, além de reduções nos constituintes da parede celular, como FDN, FDA e lignina. Notavelmente, o aumento da inclusão de *T. diversifolia* reduziu a produção de gás total, devido à presença de compostos secundários com efeito modulador da fermentação ruminal. Esses achados reforçam o potencial da *Tithonia* não apenas como volumoso, mas também como ferramenta estratégica na formulação de dietas mais sustentáveis, contribuindo para a mitigação das emissões entéricas sem comprometer a qualidade da dieta.