

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CÂMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

NYCOLLE LAUANDA FERREIRA

**QUALIDADE DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA *IN NATURA* E FENADA DAS
CULTIVARES BOI-TATÁ E PARAGUAIA PRODUZIDAS NO INVERNO NA
REGIÃO SUL DO BRASIL**

**Marechal Cândido Rondon
2025**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CÂMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

NYCOLLE LAUANDA FERREIRA

**QUALIDADE DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA *IN NATURA* E FENADA DAS
CULTIVARES BOI-TATÁ E PARAGUAIA PRODUZIDAS NO INVERNO NA
REGIÃO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de mestra em zootecnia, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - na Área de Concentração: Produção e Nutrição Animal.
Orientadora: Profa. Dra. Maximiliane Alavarse Zambom
Coorientador: Dr. Fábio Seiji dos Santos

**Marechal Cândido Rondon
2025**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Ferreira, Nycolle Lauanda

Qualidade da parte aérea da mandioca in natura e fenada das cultivares Boi-Tatá e Paraguaia produzidas no inverno na região Sul do Brasil / Nycolle Lauanda Ferreira; orientadora Maximiliane Alavarse Zambom; coorientador Fabio Seiji dos Santos. -- Marechal Cândido Rondon, 2025.

52 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2025.

1. Zootecnia. 2. Feno. 3. Alimentos alternativos. 4. Mandioca. I. Zambom, Maximiliane Alavarse, orient. II. Santos, Fabio Seiji dos, coorient. III. Título.

NYCOLLE LAUANDA FERREIRA

Qualidade da parte aérea da mandioca *in natura* e fenada das cultivares boi-tatá e paraguaia produzidas no inverno na Região Sul do Brasil.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de “Mestra em Zootecnia”, Área de Concentração “Produção e Nutrição Animal”, Linha de Pesquisa “Produção e Nutrição de Ruminantes / Forragicultura”, APROVADA pela seguinte Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 MAXIMILIANE ALAVARSE ZAMBOM BRAMBILLA
Data: 28/08/2025 13:08:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora / Presidente – Prof.^a Dr.^a Maximiliane Alavarse Zambom
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Documento assinado digitalmente
 MARIA LUIZA FISCHER
Data: 11/09/2025 08:53:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro – Dr.^a Maria Luiza Fischer
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - *Campus* de Mal. Cândido Rondon

Documento assinado digitalmente
 GERALDO TADEU DOS SANTOS
Data: 10/09/2025 09:57:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro – Prof. Dr. Geraldo Tadeu dos Santos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Marechal Cândido Rondon, 15 de agosto de 2025.

DEDICATÓRIA

A Deus por sempre iluminar a minha vida.

À minha Mãe, Rosangela, por me criar com tanto amor, carinho, respeito, por sempre ter priorizado a minha educação, por sempre acreditar em mim e no meu potencial, por sempre me apoiar em todas as minhas decisões, por sempre me acompanhar em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

*À toda a minha família, principalmente meus avós, Iracema e José por todo amor e carinho.
E, por fim, a todos que sempre estiveram ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me iluminar e me guiar no caminho certo.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela disponibilidade de realização deste trabalho, em especial ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia – UNIOESTE/UTFPR pela oportunidade de realização do mestrado.

À Prof.^a Dr^a Maximiliane Alavarse Zambom, pela oportunidade, por toda orientação, dedicação, paciência e ensinamentos.

Ao meu Coorientador Dr. Fabio Seiji dos Santos, pela disponibilidade e por toda ajuda, principalmente durante a fase experimental na fazenda.

A todos os professores do PPZ pelos conhecimentos repassados durante todo o período.

Ao Prof. Dr. Ériton Egidio Lisboa Valente, por toda ajuda e disponibilidade durante todo período do mestrado.

À Maria Luiza Fischer por todo apoio e ensinamentos durante o período experimental, as análises e todo o período do mestrado.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa e Estudos em Qualidade do Leite, Alimentação e Digestibilidade em Ruminantes, Qualhada[®], aos que ajudaram no corte da parte aérea da mandioca, em especial a Rayssa, que passou dias comigo na fazenda de Entre Rios do Oeste auxiliando-me na produção do feno para que o trabalho pudesse ser iniciado, além daqueles que ajudaram nas escalas na fazenda experimental.

Aos amigos e colegas do PPZ que, de alguma, forma contribuíram para esta conquista.

À CAPES pela concessão da bolsa.

Aos meus amigos que estiveram comigo em todos os momentos.

E a todos que de alguma forma estiveram presentes e me ajudaram ao longo dessa jornada.

EPÍGRAFE

“Quem tem medo do fracasso tem medo da vida. Quem foge das dificuldades foge de si mesmo.

(Humberto Gessinger)

QUALIDADE DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA *IN NATURA* E FENADA DAS CULTIVARES BOI-TATÁ E PARAGUAIA PRODUZIDAS NO INVERNO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

RESUMO: A parte aérea da mandioca (*Manihot esculenta*) tem se destacado como uma alternativa promissora de volumoso para ruminantes, especialmente em períodos de escassez de forragem, devido à sua boa composição nutricional e ampla disponibilidade. No entanto, a forma de conservação, seja *in natura* ou como feno, pode alterar significativamente a qualidade química, a digestibilidade e o perfil microbiológico do material. Além disso, durante o armazenamento, a presença de fungos filamentosos pode comprometer a estabilidade e a segurança do alimento, por meio da produção de micotoxinas. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição bromatológica, a digestibilidade *in vitro*, o fracionamento de proteínas e de carboidratos não fibrosos, bem como as características microbiológicas da parte aérea da mandioca das cultivares Boi-tatá e Paraguaia, conservadas nas formas *in natura* e feno durante o inverno. As plantas foram colhidas entre junho e julho, a 30 cm do solo, trituradas e submetidas à secagem solar por 20 dias. Foram coletadas 16 amostras para análises bromatológicas, digestibilidade *in vitro*, fracionamento proteico e avaliação microbiológica. A fenação promoveu aumento nos teores de matéria seca, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e lignina, e redução na fração proteica solúvel (fração A) e na digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Por outro lado, observou-se elevação na digestibilidade da proteína bruta e da fibra, bem como redução da fração proteica indigestível (fração C), indicando maior aproveitamento das frações menos degradáveis. As duas cultivares apresentaram comportamento nutricional semelhante. Na análise microbiológica, o feno da cultivar Paraguaia apresentou maior contagem de fungos, enquanto o da Boi-tatá teve predominância de leveduras. Os gêneros identificados *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Cladosporium*, são considerados fungos deteriorantes e potencialmente tóxicos, pois podem produzir micotoxinas, que podem ser prejudiciais para a produção animal. Conclui-se que a parte aérea da mandioca apresenta bom potencial como volumoso alternativo, mantendo qualidade nutricional relevante mesmo após o processo de fenação em condições de inverno, desde que sejam adotadas boas práticas de secagem e armazenamento para minimizar o crescimento de fungos indesejáveis.

Palavras-Chave: alimento alternativo. composição nutricional. feno da parte aérea de mandioca.

QUALITY OF FRESH AND HAYED CASSAVA AERIAL PARTS OF THE BOI-TATÁ AND PARAGUAIAN CULTIVARS PRODUCED IN WINTER IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT: The aerial part of cassava (*Manihot esculenta*) has stood out as a promising alternative forage for ruminants, especially during periods of forage scarcity, due to its good nutritional composition and wide availability. However, the method of preservation, whether fresh or as hay, can significantly alter the chemical quality, digestibility, and microbiological profile of the material. Furthermore, during storage, the presence of filamentous fungi can compromise the stability and safety of the feed through the production of mycotoxins. Therefore, this study aimed to evaluate the proximate composition, *in vitro* digestibility, protein and non-fibrous carbohydrate fractionation, as well as the microbiological characteristics of the aerial part of cassava from the Boi-tatá and Paraguayan cultivars, preserved in fresh and hay forms during the winter. The plants were harvested between June and July, 30 cm above the ground, shredded, and sun-dried for 20 days. Sixteen samples were collected for proximate analysis, *in vitro* digestibility, protein fractionation, and microbiological evaluation. Haymaking promoted an increase in dry matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, and lignin contents, and a reduction in the soluble protein fraction (fraction A) and *in vitro* dry matter digestibility. On the other hand, an increase in crude protein and fiber digestibility was observed, as well as a reduction in the indigestible protein fraction (fraction C), indicating greater utilization of the less degradable fractions. The two cultivars showed similar nutritional behavior. In the microbiological analysis, the hay from the Paraguayan cultivar showed a higher fungal count, while the Boi-tatá cultivar showed a predominance of yeasts. The identified genera *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, and *Cladosporium* are considered spoilage and potentially toxic fungi, as they can produce mycotoxins, that are harmful to animal production. It is concluded that the aerial part of cassava has high potential as an alternative forage, maintaining relevant nutritional quality even after the haymaking process under winter conditions, provided that good drying and storage practices are adopted to minimize the growth of undesirable fungi.

Keywords: Alternative feed. nutritional composition. cassava aerial part hay.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição bromatológica da parte aérea da mandioca <i>in natura</i> e conservada na forma de feno, das cultivares Boi-tatá e Paraguaia	37
Tabela 2: Fracionamento de proteínas da parte aérea da mandioca <i>in natura</i> e conservada na forma de feno, das cultivares de mandioca Boi-tatá e Paraguaia	39
Tabela 3: Digestibilidade <i>in vitro</i> da parte aérea da mandioca <i>in natura</i> e conservada na forma de feno, das cultivares de mandioca Boi-tatá e Paraguaia.....	41
Tabela 4: Avaliação microbiológica do feno da parte aérea da mandioca das cultivares Boi-tatá e Paraguaia.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO.....	14
2.1 Cultura da mandioca.....	14
2.2 Poda da parte aérea da mandioca e sua importância na produção de feno no período de inverno no Paraná	15
2.3 Processo de fenação.....	17
2.4 Qualidade da forragem	18
2.5 Parte aérea da mandioca na nutrição de ruminantes.....	20
2.6 Referências	23
3. QUALIDADE DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA <i>IN NATURA</i> E FENADA DAS CULTIVARES BOI-TATÁ E PARAGUAIA PRODUZIDAS NO INVERNO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	28
3.1 Introdução.....	30
3.2 Material e métodos	32
3.3 Resultados.....	36
3.4 Discussão.....	43
3.5 Conclusão	47
3.6 Referências	48

1. INTRODUÇÃO

A pecuária nacional enfrenta constantes desafios relacionados à sazonalidade da produção de forragens e à baixa qualidade dos alimentos disponíveis durante a estação seca, o que compromete o desempenho dos animais (Lima et al., 2019). Nesse contexto, a busca por alternativas alimentares viáveis, nutritivas e economicamente sustentáveis tem estimulado o uso de subprodutos e de culturas adaptadas às condições tropicais, com destaque para a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).

A mandioca é uma cultura de grande relevância socioeconômica, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, como o Brasil, onde representa fonte importante de alimento e renda para pequenos produtores (Cereda; Vilpoux, 2021). Além de suas raízes ricas em carboidratos, a parte aérea da planta — composta por folhas, pecíolos e ramos — possui potencial significativo na alimentação de ruminantes devido ao seu valor nutricional, especialmente em proteína bruta (Silva et al., 2020). Entretanto, sua alta umidade e perecibilidade limitam o aproveitamento *in natura*, tornando necessária a adoção de métodos de conservação, como a fenação.

O processo de fenação reduz a umidade dos vegetais a níveis que inibem o crescimento microbiano, promovendo a conservação do alimento por longos períodos e facilitando o transporte e o armazenamento (Jobim et al., 2007). A adoção da fenação para a parte aérea da mandioca surge como uma estratégia promissora para ampliar sua utilização na nutrição de ruminantes, especialmente em períodos de escassez de forragem verde. No entanto, é necessário avaliar os efeitos desse processamento sobre a composição bromatológica e a digestibilidade dos nutrientes.

A composição química do feno da parte aérea da mandioca apresenta variação, sendo influenciada pelo estágio de crescimento da planta e pelo manejo pós-colheita. Segundo Souza (2011), a parte aérea da mandioca apresenta teor proteico em torno de 9% a 28%. Só as folhas podem chegar a 35% dependendo da cultivar e idade da planta (Sudarman et al. 2016). Os compostos cianogênicos presentes na mandioca podem ser controlados quando o material passa por um processamento adequado. Além disso, a forragem possui compostos bioativos que atuam como moduladores da fermentação ruminal, contribuindo para a melhora na eficiência alimentar e redução de metabólitos prejudiciais (Phuapaiboon et al., 2022; Wang et al., 2022).

Em relação a ganho de peso, Costa et al. (2019) observaram que ruminantes suplementados com feno da parte aérea da mandioca apresentaram ganho de peso semelhantes aos animais alimentados com forragens convencionais, como o feno de tifton 85. Esse resultado indica que o feno de mandioca pode ser uma alternativa nutritiva e eficiente para substituir parte das forragens tradicionais, mantendo o desempenho produtivo dos animais sem comprometer a qualidade nutricional da dieta.

O feno da parte aérea da mandioca apresenta-se como uma alternativa promissora para a alimentação de ruminantes, oferecendo benefícios nutricionais, econômicos e ambientais. Seu

aproveitamento contribui significativamente para a redução do desperdício agrícola, tornando a produção mais sustentável.

Este trabalho apresenta como hipótese a ideia de que a conservação da parte aérea da mandioca na forma de feno poderá promover alterações significativas em sua composição bromatológica, na digestibilidade *in vitro*, nas frações de proteína e de carboidratos não fibrosos, bem como no perfil microbiológico. Espera-se que o processo de fenação reduza o teor de umidade, promova a concentração de nutrientes estruturais, modifique as frações nitrogenadas degradáveis e indigestíveis, e atue na redução da população de microrganismos deteriorantes, especialmente fungos e leveduras, contribuindo para a maior estabilidade e qualidade do material conservado.

Ademais, o presente estudo tem como objetivo determinar a composição bromatológica da parte aérea da mandioca *in natura* e na forma de feno; avaliar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca dos diferentes materiais avaliados; estimar as frações proteicas (A, B1, B2, B3 e C) presentes na parte aérea da mandioca *in natura* e fenada; quantificar os carboidratos totais e não fibrosos (CT e CNF) presentes nos materiais; avaliar qualitativa e quantitativamente a população de fungos e leveduras.

2. REVISÃO

2.1 Cultura da mandioca

A mandioca é uma cultura tradicionalmente utilizada para produção de raízes comestíveis, mas a parte aérea (folhas e hastes) tem se destacado como alternativa para alimentação animal (El-Sharkawy, 2012). Sua adaptação a solos de baixa fertilidade, resistência à seca e rápida produção de biomassa a tornam uma opção estratégica para regiões tropicais (Silva et al., 2023).

De acordo com a última atualização do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), a produção de mandioca no Brasil atingiu 18.514.317 toneladas, cultivadas numa área de 1.201.440 hectares, com um rendimento médio de 15.410 Kg por Hectare. Só o Paraná produziu mais de 3 milhões de toneladas em uma área de mais de 136 mil hectares.

A mandioca é uma planta dicotiledônea pertencente à família das Euphorbiaceae, do gênero *Manihot* e forma a única espécie cultivada (Costa, 2019). A mandioca (*Manihot esculenta*) tem origem na América do Sul, com centro de domesticação localizado na região Amazônica, especialmente em áreas que hoje compreendem o norte do Brasil, o sudeste da Colômbia, o leste do Peru e do Paraguai. A espécie é resultado da hibridação entre duas formas selvagens nativas da Amazônia (Allem et al., 2001; Léotard et al., 2009). Trata-se de uma planta perene, com sistema radicular profundo e caule ereto ou semiereto, cujo ciclo varia de 8 a 24 meses, dependendo da cultivar, das condições edafoclimáticas e do objetivo de produção. Seu crescimento é contínuo nas regiões tropicais, especialmente onde há chuvas bem distribuídas ao longo do ano (El-Sharkawy, 2004).

A planta destaca-se no nordeste brasileiro por sua alta produtividade, que é atribuída à sua capacidade de prosperar em condições adversas, facilidade de manuseio de seus produtos e, principalmente, seu valor nutricional. O conhecimento da composição nutricional dos alimentos, especialmente os alternativos, é crucial para satisfazer as necessidades nutricionais dos animais.

As folhas e a rama da mandioca destacam-se por seu alto teor de proteína bruta. Essa característica torna a parte aérea da mandioca um componente valioso na alimentação animal, especialmente quando processada adequadamente para reduzir o teor de ácido cianídrico. Além disso, a mandioca se sobressai por sua capacidade de prosperar em solos ácidos, um fator limitante para muitas culturas. Somado a isso, ela também desenvolveu uma relação simbiótica com fungos micorrízicos presentes no solo, que auxiliam na absorção de fósforo e micronutrientes. Essa associação é especialmente importante para a mandioca, visto que a maior parte dos nutrientes absorvidos pela planta é armazenada nas hastes e folhas, que, ao se decompor, promovem a devolução desses nutrientes ao solo, beneficiando o cultivo subsequente (FAO, 2013).

Embora a mandioca seja considerada uma cultura tolerante à seca, o fornecimento adequado de água é crucial para seu desenvolvimento, principalmente durante as fases de enraizamento e

tuberização, que ocorrem do primeiro ao quinto mês após o plantio. Do contrário, a deficiência hídrica nesses estágios pode causar danos irreversíveis ao crescimento da planta, impactando negativamente a produção (Souza, 2003).

O período de plantio da mandioca é crucial para o seu desenvolvimento inicial e, consequentemente, para a sua produtividade. Segundo Alcantara (2014), a época ideal para o plantio é no início da estação chuvosa, pois a umidade e o calor presentes nesse período são essenciais para a brotação e o enraizamento das manivas, que são os segmentos de caule utilizados para propagar a mandioca.

Além das práticas de plantio e manejo nutricional, destaca-se a importância da poda da parte aérea da mandioca, especialmente em sistemas de produção integrados ou com finalidade forrageira. A poda estimula o perfilhamento da planta, melhora o acesso à luz solar e pode aumentar a produtividade de biomassa aérea. Em cultivares com potencial forrageiro, a poda permite colheitas múltiplas da parte aérea ao longo do ciclo, sem comprometer a formação das raízes (Ravindran, 1995; Alves et al., 2021).

O material resultante desse manejo, composto por folhas, pecíolos e hastes jovens, é altamente nutritivo e pode ser destinado à alimentação animal, desde que sejam adotadas práticas adequadas de processamento e conservação, como a fenação ou a ensilagem. A fenação da parte aérea da mandioca promove rápida redução do teor de HCN por volatilização e resulta em um produto rico em proteína, com digestibilidade variável conforme o ponto de corte e o manejo pós-colheita. Esse aproveitamento representa uma importante estratégia para reduzir o desperdício e aumentar a eficiência do sistema produtivo. Além disso, o uso da parte aérea como forragem contribui para a diversificação das fontes de alimento para ruminantes, especialmente em períodos de escassez de pasto ou durante a estiagem (Oliveira et al., 2022).

Por fim, ao incorporar práticas como a poda racional e o aproveitamento da parte aérea, o cultivo da mandioca se torna ainda mais eficiente, sustentável e versátil, tanto para fins alimentares quanto para uso na alimentação animal em diferentes sistemas produtivos.

2.2 Poda da parte aérea da mandioca e sua importância na produção de feno no período de inverno no Paraná

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância econômica e social em regiões tropicais e subtropicais, especialmente no Brasil, país considerado o principal centro de origem e diversidade genética da espécie. Além do uso tradicional das raízes na alimentação humana e na indústria, a parte aérea da planta, composta por folhas e hastes, tem recebido crescente destaque como fonte alternativa de volumoso para a alimentação de ruminantes, em função de seu potencial nutricional e ampla disponibilidade (Tomich et al., 2009; Costa et al., 2022).

A poda da parte aérea da mandioca é uma prática agrícola fundamental para o manejo da cultura, consistindo no corte controlado das folhas e hastes da planta após o seu estabelecimento inicial. Essa técnica tem como principais objetivos estimular a brotação e o crescimento de nova biomassa, além de possibilitar a colheita da parte aérea para uso na alimentação animal, agregando valor a um resíduo que, tradicionalmente, é descartado (Lima et al., 2013); Oliveira et al., 2015)

Do ponto de vista agrônômico, a poda promove a renovação do dossel foliar, aumentando a capacidade fotossintética da planta e, conseqüentemente, a acumulação de reservas na raiz, o que pode refletir em maior produtividade e qualidade do produto final (Costa et al., 2020). Além disso, a poda auxilia no controle do ciclo da cultura, podendo ser realizada em momentos estratégicos conforme as condições climáticas e as demandas do sistema produtivo.

No Paraná, a poda da parte aérea da mandioca geralmente coincide com o período de inverno, caracterizado por temperaturas mais baixas, maior ocorrência de orvalho e precipitações frequentes (INMET, 2023). Essa coincidência representa uma oportunidade importante para o aproveitamento da biomassa gerada, especialmente porque o inverno é marcado pela escassez de forragens frescas de alta qualidade, aumentando a demanda por alternativas nutritivas para a alimentação de ruminantes (Silva et al., 2019).

A produção de feno a partir da parte aérea da mandioca durante o inverno possibilita agregar valor a esse resíduo da poda, promovendo a conservação da biomassa para uso posterior e garantindo o fornecimento contínuo de volumosos nos períodos de menor oferta de forragens (Lima et al., 2013). Entretanto, a produção de feno no inverno impõe desafios técnicos significativos devido às condições climáticas adversas para a secagem, temperaturas amenas com dias mais curtos e ocorrência frequente de chuvas e orvalho (Oliveira et al., 2017; Santos et al., 2018).

Essas condições dificultam a obtenção rápida da matéria seca ideal para o armazenamento do feno (inferior a 14%), prolongando o tempo necessário para secagem e aumentando o risco de deterioração microbológica, que pode comprometer a qualidade nutricional e a segurança do volumoso para os animais (Silva et al., 2019; Pereira et al., 2020). Para mitigar esses efeitos, torna-se fundamental adotar práticas de manejo adequadas, como o revolvimento frequente do material, uso de lonas para proteção contra a umidade noturna e escolha criteriosa do momento do corte (Ferreira et al., 2016).

Assim, a poda da parte aérea da mandioca no período de inverno não só é estratégica para a sustentabilidade dos sistemas de produção integrada, como também demanda atenção especial às condições ambientais e técnicas de conservação para garantir a qualidade do feno produzido. Esse manejo integrado da cultura e da conservação da biomassa oferece uma solução eficaz e eficiente para a alimentação animal nos períodos críticos, reduzindo custos e promovendo o aproveitamento integral da planta.

Em suma, a poda da parte aérea da mandioca e sua coincidente realização no inverno no Paraná constituem uma importante prática que alia produção agrícola e alimentação animal, viabilizando o uso sustentável de recursos locais e contribuindo para a segurança alimentar e econômica dos sistemas pecuários na região.

2.3 Processo de fenação

A fenação é uma técnica tradicional de conservação de forragens essencial para assegurar a disponibilidade de alimento durante os períodos de escassez, especialmente na estação seca, compreendido entre maio e setembro, sendo junho, julho e agosto os meses mais críticos em virtude da combinação entre menores índices pluviométricos, temperaturas reduzidas e menor radiação solar. Esse processo consiste basicamente na desidratação da biomassa até um teor de umidade ideal (geralmente abaixo de 15%), o que inibe o crescimento de microrganismos e preserva os nutrientes por longos períodos (Evangelista & Lima, 2013; Costa et al., 2022).

Nas últimas décadas, a fenação da parte aérea da mandioca (PAM) tem sido estudada como uma alternativa promissora para produção de volumosos de boa qualidade, aliando alta produção de biomassa com aproveitamento de resíduos agrícolas (Souza et al., 2018). O feno da parte aérea da mandioca surge como uma alternativa promissora para suprir a demanda por forragem na estação seca, quando a produção de forragem é tipicamente menor.

Para a produção de feno, é recomendável realizar a poda da planta a partir dos 6 meses após o plantio, quando a parte aérea apresenta elevado valor nutritivo e bom rendimento em massa verde. Essa poda não compromete o desenvolvimento das raízes, desde que realizada de forma adequada e em épocas que não coincidam com períodos críticos de acúmulo de reservas. O material oriundo da poda deve ser imediatamente manejado para evitar perdas nutricionais. A secagem pode ser feita ao sol, em leiras finas e revolvidas periodicamente, ou em secadores artificiais, que garantem maior uniformidade e segurança contra intempéries.

A fenação da parte aérea da mandioca apresenta desafios relacionados à elevada umidade das folhas frescas, que pode ultrapassar 75%, dificultando a rápida desidratação. Assim, o adequado manejo durante o processo de fenação é fundamental para preservar compostos nutricionais sensíveis à luz e ao calor, como a proteína solúvel e os carotenoides.

Um aspecto fundamental na utilização da parte aérea da mandioca para alimentação animal é a presença de compostos antinutricionais que podem limitar o consumo e a digestibilidade, além de representar riscos à saúde dos ruminantes. Entre esses compostos, destaca-se o ácido cianídrico (HCN), um glicosídeo cianogênico que, em concentrações elevadas, é altamente tóxico e pode causar intoxicações agudas ou crônicas (Tewe, 1992). Além do HCN, a PAM contém outros fatores antinutricionais como taninos, saponinas, oxalatos e fitatos, que podem interferir na absorção de

minerais, reduzir a palatabilidade e comprometer o metabolismo animal (Lima et al., 2015; Nassar et al., 2021).

O processo de fenação é crucial para a redução desses compostos antinutricionais. A desidratação rápida e eficiente promove a degradação dos glicosídeos cianogênicos, diminuindo o teor de HCN a níveis seguros para o consumo (Montagnac et al., 2009). A exposição ao calor, à luz solar e à oxidação durante a secagem favorece a conversão desses compostos em formas menos tóxicas. Por exemplo, estudos demonstram que a secagem ao sol, especialmente quando a biomassa está finamente picada e bem distribuída, pode reduzir o HCN em até 90% (Tewe, 1992; Nassar et al., 2021). Ademais, taninos e saponinas, embora presentes em menor proporção, podem ser parcialmente inativados ou reduzidos pela secagem, melhorando a digestibilidade e o valor nutricional da forragem (Silva & Costa, 2016).

Além de conservar a forragem, a fenação desempenha papel crucial na segurança alimentar dos ruminantes, protegendo-os contra intoxicações e promovendo o bem-estar animal. Dessa forma, o processo não apenas prolonga a vida útil da forragem, mas também agrega valor ao tornar a alimentação mais segura e eficiente, ampliando as possibilidades de uso da parte aérea da mandioca como volumoso. Esse aproveitamento contribui ainda para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, ao reduzir o desperdício de material vegetal, maximizar o uso da área cultivada e favorecer o retorno de nutrientes ao solo por meio do esterco dos animais (Silva et al., 2019; Oliveira et al., 2020).

Portanto, a fenação da parte aérea da mandioca representa uma prática promissora para o fornecimento de volumoso de qualidade, especialmente em propriedades com recursos limitados e alta dependência de pastagens sazonais. Seu uso racional pode contribuir para o aumento da eficiência alimentar e redução dos custos na produção animal, ao mesmo tempo em que agrega valor a uma parte da planta tradicionalmente subutilizada.

2.4 Qualidade da forragem

A qualidade do feno é um fator determinante para o sucesso na alimentação de ruminantes, especialmente em sistemas que dependem de volumosos conservados durante os períodos de escassez. Para essa condição, ele deve apresentar elevada digestibilidade, bom valor nutricional, ausência de contaminantes e características físicas adequadas, como coloração verde, odor agradável e textura macia. No caso do feno de mandioca, diversos estudos vêm destacando seu potencial como alternativa viável para suprir as necessidades nutricionais dos animais em períodos secos.

A análise bromatológica é uma das principais ferramentas para avaliar a qualidade do feno, fornecendo informações detalhadas sobre os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE) e cinzas, que

influenciam diretamente na qualidade da forragem e no desempenho produtivo dos animais (Van Soest, 1994; NRC, 2001). A obtenção de um teor adequado de matéria seca, geralmente acima de 85% ao final do processo de secagem, é fundamental para inibir o crescimento microbiano e evitar a deterioração do feno (Costa et al., 2020).

Dentre os nutrientes, a proteína bruta desempenha papel fundamental ao fornecer nitrogênio para os microrganismos ruminais, que são responsáveis pela fermentação eficiente da fibra e pela produção de ácidos graxos voláteis (AGVs), principais fontes de energia para os ruminantes (Silva et al., 2021; Tomich et al., 2009). Além disso, os teores de FDN e FDA refletem a composição da parede celular da planta, influenciando a digestibilidade e o tempo de passagem da dieta no rúmen (Van Soest, 1994). A fibra em detergente neutro representa a celulose, hemicelulose e lignina, enquanto a fibra em detergente ácido está associada principalmente à lignina, que limita a digestibilidade (Mertens, 1997). No feno de mandioca, valores moderados dessas frações favorecem a motilidade ruminal e a saúde digestiva, promovendo uma adequada ruminação e prevenindo distúrbios metabólicos (Carvalho et al., 2020).

Entretanto, a qualidade do feno não se restringe à sua composição química, pois sua estabilidade microbiológica é igualmente determinante. Fungos filamentosos, como *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, e leveduras são microrganismos que podem proliferar durante o armazenamento, especialmente se a umidade e temperatura não forem controladas, comprometendo a integridade e o valor nutricional do volumoso (Magan & Lacey, 1984; Pitt & Hocking, 2009). A contaminação fúngica não só provoca perdas de nutrientes e redução da palatabilidade, como também pode gerar micotoxinas que afetam a saúde dos animais, ocasionando desde intoxicações agudas até prejuízos produtivos crônicos (Magan et al., 2010; Ribeiro et al., 2018). Além disso, leveduras contribuem para fermentações indesejadas e perdas energéticas, comprometendo o valor do feno (Filtenborg et al., 1996). Portanto, o manejo correto da secagem e do armazenamento, com redução rápida da umidade e locais secos e ventilados, é indispensável para minimizar a proliferação desses microrganismos (Souza et al., 2017; Medeiros et al., 2020).

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca é outro parâmetro amplamente utilizado, pois simula a fermentação ruminal em condições controladas e permite prever o aproveitamento dos nutrientes pelo animal. Resultados de pesquisas indicam que a digestibilidade do feno de mandioca pode alcançar valores entre 55% e 70%, dependendo do estágio de maturidade no momento da colheita e do manejo pós-colheita (Tomich et al., 2009; Carvalho et al., 2020).

O fracionamento das proteínas também é essencial para entender sua utilização no rúmen. Nesse sentido, a parte aérea da mandioca apresenta predominância de frações rapidamente degradáveis (A, B1 e B2), o que favorece a fermentação e a síntese microbiana, otimizando o uso da fibra e da energia da dieta (COBLENTZ et al., 2017; LIMA et al., 2019; SOUZA et al., 2018).

Além disso, os carboidratos solúveis (CS) e os não fibrosos (CNF) presentes no feno de mandioca são fontes importantes de energia para os ruminantes. Sua rápida fermentação contribui para a produção de ácidos graxos voláteis no rúmen, favorecendo o desempenho animal (Hall, 2000; Lima et al., 2019).

A realização de análises laboratoriais do feno é fundamental para garantir a qualidade nutricional do volumoso oferecido aos ruminantes. Elas permitem identificar variações nos teores de matéria seca, proteína bruta, fibra, carboidratos solúveis, minerais e possíveis contaminantes, como micotoxinas e compostos antinutricionais. Com base nesses dados, é possível formular dietas mais equilibradas, ajustar a suplementação e prevenir deficiências ou excessos nutricionais que poderiam comprometer a saúde e o desempenho dos animais. Além disso, o controle de qualidade por meio de análises contribui para a rastreabilidade e padronização do alimento, assegurando maior segurança na produção animal e otimizando o uso dos recursos forrageiros disponíveis (Jobim et al., 2007; Detmann et al., 2011).

2.5 Parte aérea da mandioca na nutrição de ruminantes

A nutrição é um dos pilares fundamentais para o sucesso na produção de bovinos, tanto de corte, quanto de leite. Nos ruminantes, a digestão ocorre principalmente por fermentação microbiana no rúmen, processo pelo qual a fibra é convertida em ácidos graxos voláteis (AGVs), que constituem as principais fontes de energia para o animal (Van Soest, 1994; NRC, 2001). Dessa forma, a qualidade da forragem influencia diretamente o consumo voluntário, a digestibilidade e, conseqüentemente, o desempenho produtivo dos animais, refletindo no ganho de peso e na produção de leite (Detmann et al., 2014).

O manejo alimentar adequado exige o balanceamento entre volumosos e concentrados, considerando a composição química, digestibilidade e palatabilidade dos ingredientes ofertados (Lima et al., 2020). O consumo de matéria seca (CMS) é um dos principais fatores limitantes para a produtividade animal, uma vez que sua redução impacta diretamente a eficiência produtiva e o balanço energético do animal. Diversos fatores influenciam o CMS, incluindo a qualidade da forragem, o estado fisiológico do animal e aspectos relacionados à composição química da dieta, como o teor de proteína e a fração fibrosa (Nascimento et al., 2009; Berchieli et al., 2011).

A fibra desempenha papel fundamental na regulação do consumo alimentar, pois níveis elevados podem causar efeito de enchimento no rúmen, limitando o CMS. Além disso, o tamanho das partículas da dieta influencia no tempo de retenção e na ruminação, sendo que partículas maiores aumentam o tempo de passagem, reduzindo o consumo (Van Soest, 1994). A proteína bruta, por sua vez, é essencial para manter a atividade microbiana ruminal, especialmente a digestão da fibra, de modo que níveis inadequados comprometem a eficiência da fermentação (Nascimento et al., 2009).

Em virtude do aumento constante dos custos dos alimentos convencionais, o uso de alimentos alternativos tem ganhado destaque, especialmente aqueles derivados de subprodutos agrícolas, resíduos industriais e forragens tropicais com valor nutricional adequado, que podem substituir volumosos tradicionais de forma econômica e sustentável (Oliveira et al., 2018; Cardoso et al., 2021). A adoção desses ingredientes auxilia na redução dos custos de produção e promove a sustentabilidade ambiental, ao aproveitar resíduos que, de outra forma, seriam descartados (Santos et al., 2019).

Nesse contexto, a parte aérea da mandioca (PAM) apresenta-se como uma alternativa promissora para alimentação de ruminantes, principalmente em regiões como o semiárido brasileiro, onde a escassez de forragem na estação seca é um desafio constante. Diversos estudos têm demonstrado que a inclusão da PAM em dietas para bovinos promove aumento no consumo de matéria seca, proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), refletindo em melhor desempenho animal (Silva et al., 2021; Carvalho et al., 2019).

A popularidade da PAM como volumoso decorre de sua alta produtividade e valor nutricional, configurando uma alternativa viável e sustentável em sistemas de produção animal, especialmente em condições tropicais e semiáridas. Sua versatilidade advém da capacidade de adaptação a diferentes ambientes e das características químicas que influenciam positivamente seu potencial nutricional e digestibilidade. Segundo Silva et al. (2021), a parte aérea da mandioca possui elevada concentração de proteína bruta, fornecendo nitrogênio não proteico e proteína verdadeira para o rúmen, essenciais para a manutenção da microbiota ruminal e eficiência fermentativa.

Além da proteína, a mandioca apresenta teores moderados a altos de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), que são importantes para a motilidade ruminal e manutenção da saúde digestiva. A digestibilidade da matéria seca (DMS) da parte aérea da mandioca geralmente varia entre 55% a 70%, dependendo do processamento e do manejo da planta (Tomich et al., 2009; Carvalho et al., 2020). Esse índice é considerado satisfatório para a alimentação de bovinos, especialmente quando comparado a outras fontes volumosas convencionais, como capins e fenos tradicionais.

Estudos, como os de Salviano e Carvalho Filho (1982), mostraram que amostras de folhas e ramos tenros da PAM apresentam, em matéria seca, cerca de 20,9% de PB, 13,9% de fibra bruta, 6,9% de cinzas e 62,3% de digestibilidade *in vitro* da matéria seca. Cavalcanti e Guimarães Filho (1997) registraram valores de até 90% de matéria seca e 22% de proteína bruta na folhagem seca da PAM, indicando qualidade nutricional igual ou superior a outras forrageiras tradicionais.

A composição bromatológica do feno da parte aérea da mandioca tem sido amplamente estudada, com resultados que demonstram sua equivalência e, em alguns casos, superioridade em relação a fenos tradicionais, como o de tifton e capim-elefante (Lima et al., 2019; Costa et al., 2020).

Os teores de proteína bruta no feno de mandioca variam entre 12% e 20% na matéria seca, o que contribui significativamente para a oferta proteica na dieta dos ruminantes. Além disso, os níveis de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) apresentam valores que favorecem a saúde ruminal, promovendo adequada motilidade e fermentação no rúmen (Silva et al., 2022). Tais características reforçam a importância da parte aérea da mandioca como uma fonte alternativa de volumoso para bovinos em sistemas de produção extensivos e intensivos.

Valor energético do feno da PAM também é relevante. Souza et al. (2018) indicaram que seu teor digestível é comparável ao de outras forragens tradicionais, favorecendo o ganho de peso e a produção de leite quando incluído adequadamente nas dietas. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca varia entre 60% e 70%, sendo influenciada pelo estágio de corte e pelo processo de secagem, que afetam a composição da parede celular e a disponibilidade de nutrientes (Nogueira et al., 2015).

Do ponto de vista econômico, a produção de feno a partir da PAM constitui uma alternativa viável para pequenos e médios produtores, principalmente em sistemas integrados de agricultura e pecuária. Além de agregar valor aos resíduos da cultura, reduz a dependência de volumosos convencionais, que podem ter custos elevados ou disponibilidade sazonal limitada (Oliveira et al., 2020). A sustentabilidade do sistema é potencializada pela ciclagem de nutrientes decorrente da decomposição dos restos culturais, beneficiando a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de insumos externos (FAO, 2013).

A aceitação do feno de parte aérea da mandioca pelos animais tem sido consistentemente observada em pesquisas experimentais. Carvalho et al. (2019) relataram que bovinos alimentados com dietas contendo até 40% de feno de mandioca apresentaram consumo voluntário e desempenho produtivo equivalentes aos animais alimentados com fenos tradicionais.

Além disso, a inclusão do feno de mandioca nas dietas promoveu melhorias na fermentação ruminal, refletidas em maior produção de ácidos graxos voláteis e eficiência digestiva. Esses resultados corroboram a adequação da PAM como volumoso alternativo, ressaltando seu potencial para diversificar fontes de alimentos para ruminantes em sistemas produtivos diversos.

Por fim, a PAM contribui para a segurança alimentar animal, especialmente em regiões vulneráveis a períodos prolongados de estiagem, como o semiárido brasileiro. A possibilidade de armazenar feno de alta qualidade a partir da parte aérea da mandioca permite a manutenção da oferta alimentar em condições climáticas adversas, garantindo a continuidade da produção animal e promovendo a resiliência dos sistemas agropecuários (Sousa et al., 2021).

2.6 Referências

- ALCANTARA L.B. **Época ideal de plantio da mandioca no semiárido brasileiro.** *Revista Agropecuária Nordeste*, v. 25, n. 1, p. 45-50, 2014.
- ALLEM A.C.; SILVA J.R.; PEREIRA M.G. **Gênese e domesticação da mandioca.** *Genetics and Molecular Biology*, v. 24, n. 1, p. 39-48, 2001.
- BERCHIELI T.T.; CAVALCANTI J.M.; MENDES F. **Influência da fibra dietética no consumo alimentar.** *Revista de Ciência Animal*, v. 2, n. 3, p. 25-33, 2011.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. M. M. Mandioca e seus derivados: potencialidades e desafios. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 11, n. 3, p. 45-60, 2021.
- CARVALHO F.P.; OLIVEIRA M.E.; ALMEIDA J.S. **Fibra detergente neutro e ácido no desempenho ruminal de bovinos.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 21, n. 3, p. 345-354, 2020.
- CARVALHO F.P.; OLIVEIRA M.E.; ALMEIDA J.S. **Utilização do feno da parte aérea da mandioca na alimentação de bovinos.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, n. 3, p. 310-318, 2019.
- CARDOSO V.S.; FERREIRA P.R.; ALMEIDA M.D. **Sustentabilidade na produção animal: uso de subprodutos.** *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 16, n. 4, p. 50-60, 2021.
- CAVALCANTI J.J.; GUIMARÃES FILHO J.A. **Qualidade nutricional da folhagem seca da mandioca.** *Revista Agropecuária*, v. 8, n. 2, p. 120-127, 1997.
- COBLENTZ W.K.; FERREIRA L.M.; ALMEIDA J.C. **Frações proteicas e sua influência na fermentação ruminal.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, n. 5, p. 385-392, 2017.
- COSTA A.L.; SILVA F.J.; SOUZA R.P. **Avaliação do ganho de peso em ruminantes suplementados com feno da parte aérea da mandioca.** *Revista de Ciência Animal*, v. 25, n. 2, p. 112-120, 2019.
- COSTA M.L. **Caracterização botânica da mandioca (Manihot esculenta Crantz).** *Jornal de Ciências Agrárias*, v. 20, n. 3, p. 215-220, 2019.
- COSTA M.L.; OLIVEIRA R.F.; SANTOS D.A. **Alternativas para uso da parte aérea da mandioca em dietas de ruminantes.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 23, n. 1, p. 15-25, 2022.
- COSTA M.L.; OLIVEIRA R.F.; SANTOS D.A. **Composição química e valor nutricional do feno da parte aérea da mandioca.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 23, n. 1, p. 12-20, 2020.
- COSTA R.V.; ALVES T.M.; LIMA F.R. **Influência da poda na fotossíntese e produtividade da mandioca.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 55, n. 7, p. 605-613, 2020.
- DETMANN E.; SOUZA M.A.; VALADARES FILHO S.C. **Métodos para análise de alimentos: determinação de composição química e digestibilidade.** Suprema, Visconde do Rio Branco, 2011.

- DETMANN E.; VALADARES FILHO S.C.; SANTOS S.A. et al. **Métodos para análise de alimentos: determinação de composição química e digestibilidade.** Suprema, Visconde do Rio Branco, 2014.
- EL-SHARKAWY M.A. **Cassava biology and physiology.** *Plant Molecular Biology*, v. 80, n. 1, p. 39-47, 2012.
- EL-SHARKAWY M.A. **Physiological characteristics of cassava related to productivity under different environments.** *Advances in Agronomy*, v. 79, p. 187-238, 2004.
- EVANGELISTA R.A.; LIMA J.C. **Conservação de forragens por fenação: princípios e práticas.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 42, n. 6, p. 383-394, 2013.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soil Fertility and Plant Nutrition.** Rome, 2013.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Sustainable crop production intensification through ecosystem services and management.** Rome, 2013.
- FERREIRA G.A.; COSTA L.V.; SANTOS M.H. **Manejo do feno para melhoria da conservação em períodos de alta umidade.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 45, n. 6, p. 343-350, 2016.
- FILTENBORG, O.; ARREMBORG, J.; NIELSEN, P. A. Yeasts in stored forage: occurrence and effects. *Journal of Stored Products Research*, v. 32, n. 3, p. 135-143, 1996.
- HALL M.B. **Carbohydrates and ruminant nutrition.** In: *Nutritional Ecology of the Ruminant.* Cornell University Press, 2000. p. 223-247.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal 2023: levantamento sistemático da produção agrícola.** Rio de Janeiro, 2023.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados climatológicos do Paraná: inverno 2023.** Brasília, 2023.
- JOBIM C.C.; PEREIRA C.C.; ALVES B.J.R. **Conservação de forragens e controle de qualidade.** *Ciência Rural*, v. 37, n. 5, p. 1451-1458, 2007.
- LÉOTARD G.A.; ROCHA J.L.; MARTINS E. **A origem da mandioca: hibridação entre espécies amazônicas.** *Revista de Botânica Aplicada*, v. 23, n. 2, p. 134-142, 2009.
- LIMA A.C.; SILVA J.P.; COSTA R.V. **Compostos antinutricionais em forragens tropicais: impacto e manejo.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 44, n. 5, p. 193-205, 2015.
- LIMA F.R.; PEREIRA S.M.; SANTOS A.L. **Análise da composição bromatológica do feno de mandioca.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 25, n. 4, p. 360-368, 2019.
- LIMA F.R.; PEREIRA S.M.; SANTOS A.L. **Consumo voluntário e qualidade da forragem em bovinos.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 21, n. 4, p. 310-318, 2020.
- LIMA F.R.; SANTOS A.L.; PEREIRA S.M. **Utilização de frações proteicas da mandioca na alimentação de ruminantes.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 50, n. 6, p. 117-124, 2019.

- LIMA F.R.; SANTOS M.A.; COSTA R.V. **Efeito da poda na produtividade da mandioca.** *Revista Brasileira de Agricultura Tropical*, v. 43, n. 3, p. 285-293, 2013.
- LIMA M.R.; OLIVEIRA D.S.; SANTOS J.A. **Desafios da pecuária brasileira na estação seca: qualidade e oferta de forragens.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, n. 7, p. 1120-1130, 2019.
- MAGAN N.; LACEY J. **Biotic and abiotic factors influencing mycotoxin contamination of stored food and food commodities.** *Mycotoxin Research*, v. 4, n. 2, p. 64-69, 1984.
- MEDEROS F.H.; SILVA L.M.; PEREIRA A.S. **Armazenamento de feno: efeitos sobre qualidade e segurança alimentar.** *Ciência Rural*, v. 50, n. 8, p. 1-8, 2020.
- MERTENS D.R. **Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study.** *Journal of AOAC International*, v. 80, n. 6, p. 579-587, 1997.
- MONTAGNAC J.A.; DAVIDSON J.M.; KENJI C. **Effect of processing on cyanide content of cassava roots.** *Journal of Food Science*, v. 74, n. 8, p. 429-435, 2009.
- NASCIMENTO G.R.; ALMEIDA J.C.; SOUSA R.F. **Efeitos da composição química da dieta no consumo de matéria seca.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 1, p. 90-98, 2009.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7th ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001.
- NOGUEIRA D.A.; CARVALHO F.P.; SILVA J.A. **Influência do estágio de corte na digestibilidade do feno de mandioca.** *Ciência Rural*, v. 45, n. 11, p. 1998-2005, 2015.
- NASSAR, N. M. A.; SOUZA, D. R.; PEREIRA, M. F. **Redução de compostos cianogênicos na mandioca para alimentação animal.** *Ciência Rural*, v. 51, n. 2, p. 1-8, 2021.
- OLIVEIRA F.S.; LIMA R.C.; SOUSA M.J. **Aproveitamento da parte aérea da mandioca em sistemas integrados.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 24, n. 2, p. 101-110, 2020.
- OLIVEIRA F.S.; SANTOS D.A.; LIMA J.C. **Alimentos alternativos na nutrição de bovinos: vantagens e desafios.** *Revista Agropecuária*, v. 30, n. 5, p. 405-416, 2018.
- OLIVEIRA L.F.; SANTOS J.R.; FERREIRA P.M. **Produção e conservação de feno de forragens em condições de inverno.** *Ciência Rural*, v. 47, n. 12, p. 1-9, 2017.
- OLIVEIRA P.S.; LIMA A.C.; FERREIRA J.A. **Manejo da poda da parte aérea da mandioca para alimentação animal.** *Revista Agropecuária*, v. 40, n. 4, p. 201-210, 2015.
- OLIVEIRA T.F.; COSTA E.M.; LIMA S.M. **Conservação da parte aérea da mandioca: fenação e ensilagem.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 23, n. 4, p. 634-642, 2022.
- PEREIRA A.C.; SILVA T.M.; LIMA J.R. **Conservação de forragens em ambientes úmidos.** *Revista Agropecuária Técnica*, v. 29, n. 2, p. 55-63, 2020.

- PHUAPAIBOON S.; WONGSIRI S.; CHAIWONG P. **Compostos bioativos da mandioca e seus efeitos na fermentação ruminal.** *Journal of Animal Science and Technology*, v. 64, n. 1, p. 45-53, 2022.
- PITT J.I.; HOCKING A.D. **Fungi and food spoilage.** 2nd ed. Springer, New York, 2009.
- RAVINDRAN V.; RAVINDRAN G.; LILLY M.D. **Cassava: production, potential and use as feed.** *World Animal Review*, v. 78, p. 23-28, 1995.
- RIBEIRO A.C.; SANTOS M.C.; OLIVEIRA F.J. **Micotoxinas em alimentos para ruminantes: riscos e controle.** *Revista de Saúde Animal*, v. 40, n. 4, p. 370-380, 2018.
- SALVIANO M.A.; CARVALHO FILHO J. **Digestibilidade e composição química da parte aérea da mandioca.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 11, n. 1, p. 45-53, 1982.
- SANTOS M.F.; OLIVEIRA R.F.; ALVES J.L. **Impactos do clima na produção de feno no Paraná.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 4, p. 292-299, 2018.
- SANTOS, A. L.; LIMA, F. R.; PEREIRA, S. M. **Resíduos agrícolas na alimentação de ruminantes: impactos econômicos e ambientais.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 22, n. 1, p. 25-35, 2019.
- SILVA, J. A.; PEREIRA, L. F.; OLIVEIRA, M. G. **Digestibilidade e metabolismo ruminal em ruminantes alimentados com feno de mandioca.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 51, n. 1, p. 40-48, 2021.
- SILVA, T. M.; PEREIRA, L. F.; SOUZA, M. G. **Valor nutricional da parte aérea da mandioca para ruminantes.** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 50, n. 1, p. 1-10, 2020.
- SILVA, R. P.; COSTA, J. R. **Efeito da secagem sobre compostos antinutricionais em forragens.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 59, n. 2, p. 150-158, 2016.
- SILVA, L. M.; ALMEIDA, J. C.; FERREIRA, P. R. **Contribuições da fenação para a sustentabilidade da produção animal.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, n. 1, p. 55-64, 2019.
- SILVA, J. P.; OLIVEIRA, R. F.; LIMA, A. C. **Adaptabilidade da mandioca em solos de baixa fertilidade em regiões tropicais.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 18, n. 2, p. 123-130, 2023.
- SILVA D.A.; PEREIRA M.J.; LIMA S.R. **Qualidade nutricional de forragens de inverno no Paraná.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 45-53, 2019.
- SILVA, L. M.; ALMEIDA, J. C.; FERREIRA, P. R. **Características bromatológicas do feno da parte aérea da mandioca.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 49, n. 2, p. 110-119, 2022.
- SOUZA, R. M. **Composição química e valor nutritivo da parte aérea da mandioca.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- SOUZA, P. R. R. **Efeito da deficiência hídrica na produção de mandioca.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

- SOUZA, P. R.; ALVES, F. S.; LIMA, F. R. **Controle microbiológico na conservação de forragens**. Revista Agropecuária, v. 30, n. 1, p. 45-54, 2017.
- SOUZA, P. R.; ALVES, F. S.; LIMA, F. R. **Avaliação da fenação da parte aérea da mandioca para alimentação animal**. Revista Agropecuária, v. 29, n. 3, p. 350-360, 2018.
- SOUSA, R. F.; LIMA, F. R.; PEREIRA, S. M. **Segurança alimentar e utilização do feno da parte aérea da mandioca**. Revista Agropecuária, v. 30, n. 4, p. 400-408, 2021.
- SUDARMAN, M.; SAPUTRO, H.; HARTONO, B. **Proteína bruta em folhas de mandioca: variações entre cultivares e idade da planta**. Indonesian Journal of Animal Science, v. 15, n. 3, p. 85-90, 2016.
- TOMICH, T. R.; SILVA, J. A.; PEREIRA, F. R. **Uso da parte aérea da mandioca na alimentação de ruminantes**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 2, p. 213-220, 2009.
- TEWE, O. O. **Cassava toxicity and cyanide detoxification in food**. Food Chemistry Toxicology, v. 30, n. 4, p. 289-302, 1992.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Cornell University Press, 1994.
- WANG, J.; LI, X.; ZHANG, Y. **Efeitos dos compostos bioativos da mandioca na fermentação ruminal e metabolismo**. Animal Feed Science and Technology, v. 289, p. 115202, 2022.

QUALIDADE DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA *IN NATURA* E FENADA DAS CULTIVARES BOI-TATÁ E PARAGUAIA PRODUZIDAS NO INVERNO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

RESUMO: A fenação da parte aérea da mandioca, especialmente das cultivares Boi-tatá e Paraguaia, foi realizada durante o inverno, época de poda, com o objetivo de avaliar as mudanças nutricionais e microbiológicas após o processo de conservação. As plantas foram cortadas, trituradas e secas ao sol por cerca de 20 dias. As análises mostraram que o processo de fenação aumentou a concentração de matéria seca, fibras e lignina, enquanto a fração de proteína solúvel e a digestibilidade da matéria seca diminuíram. Contudo, a digestibilidade da proteína e da fibra melhorou após a fenação. A contagem de fungos foi maior na cultivar Paraguaia, enquanto leveduras predominaram no feno da Boi-tatá, refletindo diferenças na *suscetibilidade* microbiana das variedades e o impacto do clima úmido do inverno. Esses resultados destacam o potencial do uso da parte aérea da mandioca fenada como volumoso alternativo, ressaltando a importância do manejo da secagem para garantir a qualidade do produto final. Portanto, apesar dos desafios impostos pelas condições climáticas do inverno, a conservação da parte aérea da mandioca por fenação mostra-se uma estratégia viável para ampliar a oferta de volumosos em sistemas de produção animal *valendo-se* de um resíduo agrícola. *Além disso, ao se avaliar a* estabilidade e da qualidade nutricional do produto em um cenário realista, os resultados demonstram que a fenação promove alterações quantitativas e qualitativas na composição nutricional e microbiológica das cultivares avaliadas, evidenciando o potencial da parte aérea da mandioca fenada como alternativa viável de volumoso para ruminantes.

Palavras-chave: Alimento alternativo. conservação de alimentos. qualidade nutricional.

QUALITY OF THE AERIAL PART OF FRESH AND HARVESTED CASSAVA OF THE BOI-TATÁ AND PARAGUAIA CULTIVARS PRODUCED IN WINTER IN THE SOUTHERN REGION OF BRAZIL

ABSTRACT: Haymaking **using** cassava shoots, particularly of the Boi-tatá and Paraguaia cultivars, was carried out during the winter pruning season to evaluate nutritional and microbiological changes after the conservation process. The plants were cut, shredded, and sun-dried for approximately 20 days. Analyses showed that the haymaking process increased the concentration of dry matter, fiber, and lignin, while the soluble protein fraction and dry matter digestibility decreased. However, protein and fiber digestibility improved after haymaking. Fungal counts were higher in the Paraguaia cultivar, while yeasts predominated in the Boi-tatá hay, reflecting differences in the microbial susceptibility of the varieties and the impact of the humid winter climate. These results highlight the potential for using hayed cassava shoots as an alternative roughage, highlighting the importance of drying management to ensure the quality of the final product. Therefore, despite the challenges imposed by winter weather conditions, the conservation of the aerial part of cassava through haymaking **proved** to be a viable strategy to increase the supply of roughage in animal production systems by taking advantage of agricultural residue, but also to evaluate the stability and nutritional quality of the product in a realistic scenario.

Keywords: Alternative food. food preservation. nutritional quality.

3.1 Introdução

A produção animal nos trópicos enfrenta desafios cada vez mais acentuados, especialmente durante os períodos de estiagem, quando há escassez de forragens e os custos com alimentos concentrados aumentam significativamente. Ingredientes convencionais como o milho e o farelo de soja, amplamente utilizados na nutrição de ruminantes, vêm apresentando alta volatilidade de preços e grande competição com o consumo humano e a produção de biocombustíveis (Brito et al., 2018; Santos et al., 2020). Diante desse cenário, torna-se urgente a busca por alternativas alimentares que aliem viabilidade econômica, valor nutricional e sustentabilidade ambiental.

Paralelamente, a crescente geração de resíduos agroindustriais e subprodutos agrícolas tem estimulado estudos voltados ao seu aproveitamento na alimentação animal. Essa estratégia contribui não apenas para a redução de custos de produção, mas também para o fortalecimento de sistemas de produção mais sustentáveis e circulares (Silva et al., 2021; FAO, 2013). Nesse contexto, a parte aérea da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem despertado interesse por suas características agronômicas e nutricionais.

A mandioca é uma planta de origem tropical, rústica, tolerante a solos pobres e ao déficit hídrico, amplamente cultivada em diversas regiões do Brasil, o que favorece sua disponibilidade ao longo do ano (El-Sharkawy, 2007). Tradicionalmente, apenas a raiz era valorizada economicamente, enquanto a parte aérea – composta por folhas e hastes – era frequentemente descartada ou subutilizada. No entanto, estudos vêm demonstrando que as folhas da mandioca possuem alto teor de proteína bruta, variando entre 20% e 32% da matéria seca, além de apresentarem níveis relevantes de minerais e fibras digestíveis (Sudarman et al., 2016; Wanapat et al., 2013; Phuapaiboon et al., 2022). Esses atributos conferem à parte aérea da mandioca um potencial significativo como fonte de proteína alternativa na alimentação de ruminantes, especialmente em sistemas de produção com restrições financeiras e estruturais (Tinini, 2018).

Apesar de seu potencial nutricional, o uso da mandioca *in natura* na alimentação animal é limitado pela presença de compostos antinutricionais, principalmente os glicosídeos cianogênicos (linamarina e lotaustralina), que, sob ação de enzimas endógenas ou da microbiota ruminal, liberam ácido cianídrico (HCN) – uma substância tóxica capaz de comprometer o transporte de oxigênio no sangue, podendo causar intoxicações agudas nos animais (Cardoso et al., 2005; Viennassay et al., 2018; Chávez et al., 2005). Por essa razão, é imprescindível o emprego de processos de conservação ou detoxificação que reduzam os riscos associados a esses compostos.

Entre os métodos mais eficazes e economicamente viáveis está a fenação da parte aérea da mandioca. Durante o processo de secagem, ocorre a ruptura das células vegetais, permitindo a ação de enzimas β -glicosidases sobre os glicosídeos cianogênicos, promovendo sua degradação e volatilização do HCN (Montagnac et al., 2009; Tewe, 1992). Fatores como tempo de secagem,

temperatura ambiente e exposição ao ar influenciam diretamente na eficiência da detoxificação (Pham et al., 2015; Silva et al., 2019). Além disso, a fenação permite a conservação do material por longos períodos, facilitando o armazenamento e o uso estratégico em épocas de escassez. Outrossim, resultados recentes têm mostrado que diferentes métodos de conservação da parte aérea, como a ensilagem, também promovem alterações bromatológicas e microbiológicas importantes (Shibata, 2023), reforçando a relevância de avaliar a fenação como alternativa prática e acessível.

A utilização do feno da parte aérea da mandioca representa, portanto, uma estratégia promissora para agregar valor a um subproduto agrícola abundante, ao mesmo tempo em que contribui para a redução da dependência de ingredientes tradicionais e melhora a resiliência dos sistemas de produção animal. Estudos indicam que, quando corretamente processada, a parte aérea da mandioca mantém seu valor nutricional e pode ser incorporada com segurança às dietas de ruminantes (Garcia & Soares, 2015; Borges et al., 2020).

Dessa forma, o presente trabalho parte da hipótese de que o feno da parte aérea da mandioca, nas variedades Boi-tatá e Paraguaia, apresenta composição físico-química, digestibilidade e perfil proteico compatíveis com os requisitos nutricionais dos ruminantes, podendo ser utilizado como ingrediente alternativo em suas dietas. Assim, objetivou-se avaliar as características físico-químicas, a digestibilidade *in vitro*, carboidratos não fibrosos e totais, bem como a contagem e identificação de fungos e leveduras desse material nas referidas cultivares.

3.2 Material e métodos

Foram realizados os cortes da parte aérea da mandioca de duas variedades, sendo elas, Boi-tatá e Paraguaia, na Estação Experimental de Entre Rios do Oeste (24°70'26.4"S, 54°24'65.4"W), pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), com uma área de aproximadamente 3.225,6 m². O corte das plantas foi realizado a uma altura de 30 a 50 cm do solo, visando preservar as gemas de brotação e garantir a rebrota das plantas, ao mesmo tempo em que se obtém uma maior proporção de folhas, fração mais nutritiva da parte aérea. Essa altura é considerada ideal para a produção de feno de qualidade, pois evita o excesso de hastes fibrosas e melhora o teor de proteína bruta do material colhido (LIMA et al., 2013; FUKUDA et al., 2006).

As atividades de colheita, trituração e secagem foram realizadas entre os meses de junho e julho de 2024, período que compreende o inverno no estado do Paraná, caracterizado por temperaturas mais amenas, alta umidade relativa do ar e orvalho no período da noite, conforme gráfico 1. A escolha dessa época teve como finalidade avaliar o comportamento da parte aérea da mandioca quanto à composição nutricional e ao processo de conservação durante a estação fria do ano.

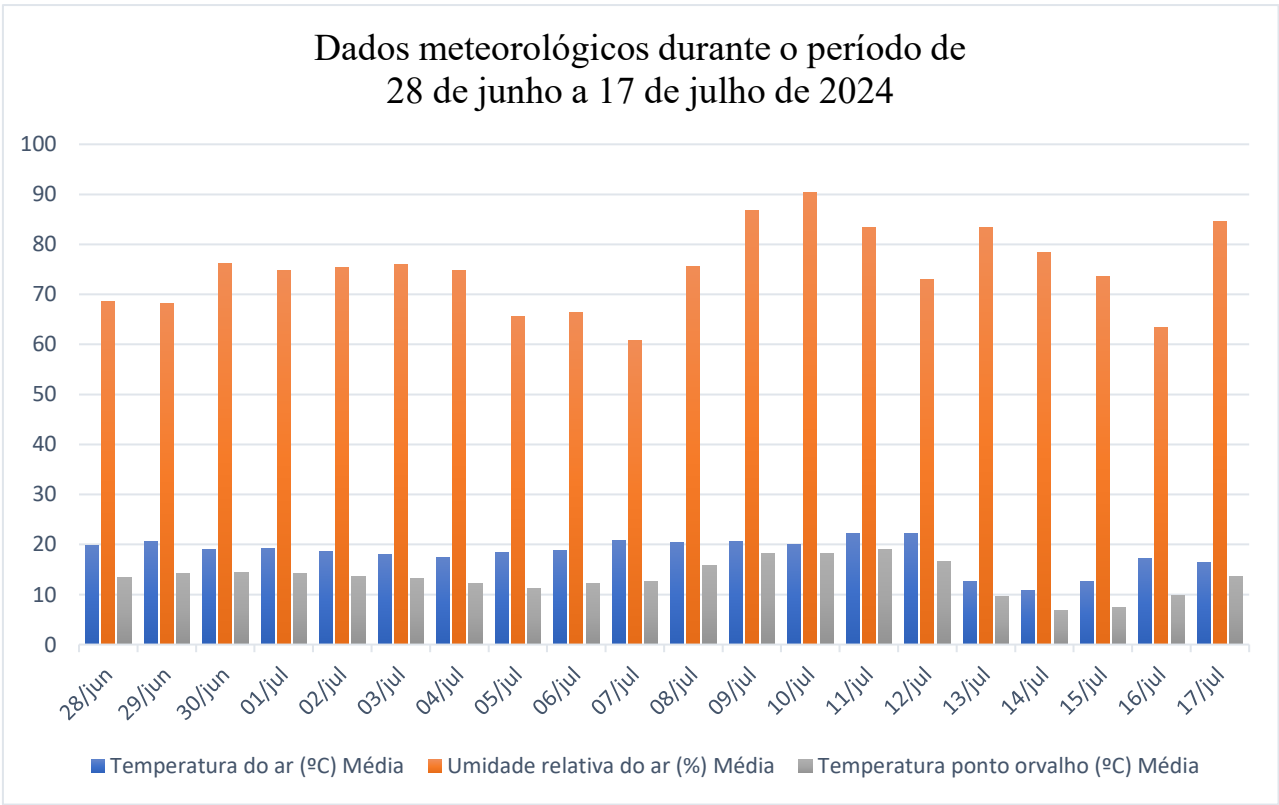


Gráfico 1: Dados meteorológicos durante o período de 28 de junho a 17 de julho de 2024

Após a realização do corte, todo o material foi triturado com a utilização de triturador de forragens. Em seguida, os materiais foram dispostos sobre uma lona preta e expostos ao sol para secagem. No momento da trituração, a umidade relativa do ar era de aproximadamente 58,88%.

Posteriormente, foram coletadas quatro amostras *in natura* de cada variedade para realização das análises laboratoriais.

Diariamente, todo o material foi revolvido ao menos duas vezes ao dia para secagem completa a fim de se evitar a fermentação. Ao final do dia, o material era recolhido para impedir que o material umedecesse em razão do contato com o orvalho noturno e, pela manhã, era exposto novamente ao sol.

Diariamente, foi verificada a umidade relativa do material a fim de se obter resultados abaixo de 14% para obtenção do feno da parte aérea da mandioca. O período de secagem completa de todo material foi de aproximadamente 20 dias a partir da realização do corte. Após a confirmação de que todo o material estava completamente seco e o feno da parte aérea havia sido formado, foram coletadas amostras de feno de cada variedade. Elas foram armazenadas em sacos devidamente identificados, com o propósito de garantir a manutenção da qualidade, e reservadas para análises posteriores. Ao total foram coletadas 4 amostras *in natura* e 4 amostras dos fenos de cada variedade, totalizando 16 amostras, as quais foram levadas ao laboratório de nutrição animal (LANA) da Unioeste.

As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas e submetidas a moagem, com moinho tipo Willey com peneira de 1mm de crivo. As análises foram realizadas de acordo com a metodologia da AOAC (1990) para os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB). A determinação da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, foi realizada segundo Van Soest et al. (1991). A matéria orgânica (MO) foi calculada pela diferença entre a MS e a MM. Os carboidratos totais (CT) e carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados conforme as equações propostas por Sniffen et al. (1992).

As medidas de digestibilidade *in vitro* foram feitas utilizando a técnica modificada de Tilley e Terry (1963) adaptada ao sistema Ankom DaisyII (Ankom Technology Corp., Macedon, EUA), conforme descrito por Holden (1999). Utilizou-se incubadora *in vitro* (Tecnal TE – 150), com temperatura controlada em 39°C e com rotação, visando simular as características ruminais. Pesou-se 0,25g de amostra moída, acondicionando-as em filtros de TNT.

Foram coletados 2 litros de líquido ruminal de uma vaca raça holandesa canulada. O líquido ruminal foi mantido em garrafa térmica até o momento de seu uso, utilizando-se CO₂ para manter o ambiente anaeróbio. Em seguida, o líquido ruminal foi filtrado em tecido de algodão, adicionados 400 mL em cada jarro do fermentador. As soluções de incubação (A e B) foram preparadas em recipientes pré-aquecidos (39°C) e misturadas adicionando-se cerca de 266 mL de solução B para 1.330 mL de solução A, com um pH final de 6,8 e temperatura de 39°C.

Após a mistura das soluções A e B, cerca de 1.600 mL de mistura combinada de A/B foi adicionada aos 400 mL do líquido ruminal para cada jarro do fermentador ruminal. Na sequência, os

filtros contendo as amostras foram acondicionados nos jarros do fermentador onde foram incubados por 48 horas a uma temperatura de 39°C.

A segunda etapa consistiu na adição de 8 g de pepsina e 40 mL de HCl 6N em cada jarro mantidos a 39°C por mais 24 horas. Ao término desse período, os jarros foram drenados e os filtros lavados com água destilada e secos em estufa a 105 °C por 12 horas. Em seguida, os filtros foram pesados para se determinar a matéria seca (MS) residual e a digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi calculada pela diferença entre a quantidade incubada e o resíduo após a incubação.

A digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO) foi determinada por meio da queima do resíduo do material incubado e do resíduo em mufla, cujo resultado foi obtido a partir do cálculo da diferença entre a quantidade incubada e o resíduo após a incubação.

Para a determinação da digestibilidade *in vitro* da FDN (DIVFDN), foi utilizada a técnica de Goering e Van Soest (1975), com incubação das amostras por 48 horas a uma temperatura de 39°C, com posterior extração em detergente neutro por meio da análise de FDN. A DIVFDN foi calculada pela diferença entre o FDN do alimento antes e após a incubação.

O fracionamento de proteínas foi determinado de acordo com Licitra et al. (1996). A fração A (NNP) foi determinada pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio insolúvel em ácido tricloroacético, o qual foi obtido por meio do tratamento de aproximadamente 0,50 gramas da amostra com 50 mL de água destilada permanecendo por 30 minutos e, posteriormente, adicionados 10 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10 % por 30 minutos. O resíduo remanescente foi filtrado em cadinhos da Gooch, lavado com água e determinado o nitrogênio residual.

O nitrogênio insolúvel total foi determinado a partir do tratamento de 0,50 gramas da amostra com tampão borato-fosfato ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a 12,2 g/L + $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ a 8,91 g/L + 100 mL/L de álcool butílico terciário) durante 3 horas, sendo determinado o N residual.

Pela diferença entre o nitrogênio total e o nitrogênio insolúvel total, foi obtido o nitrogênio solúvel total (NNP + proteína solúvel), do qual foi descontada a fração A para obtenção da fração B1, (LICITRA et al. 1996). A fração B3 foi calculada pela diferença entre o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), os quais foram determinados por meio dos resíduos das análises de FDN e FDA respectivamente. Assim, estes foram analisados para nitrogênio. A fração C foi considerada como sendo o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) e a fração B2 foi determinada pela diferença entre o nitrogênio total e as frações B1 e B3 (LICITRA et al., 1996).

Para os parâmetros microbiológicos, foram determinados os fungos e leveduras. Já as populações microbianas foram determinadas a partir da técnica de cultura, de acordo com Silva et al. (1997). Adicionaram-se 225 mL de água destilada em 25 g de amostra, mantendo em agitação e, a partir, desta solução foi pipetado 1 mL em sucessivas diluições de 10^{-1} a 10^{-5} , utilizando-se tubos de

ensaio contendo 9 ml de água destilada. Posteriormente, a partir dos extratos diluídos, realizou-se semeadura nas placas utilizando 0,1 mL de inóculo por placa semeadas em superfície, cujas amostras foram semeadas em superfície em Batata Dextrose Ágar (BDA) em pH 3,5, acidificado com ácido tartárico 10% (Brackett e Splittstoesser, 1992).

As placas foram incubadas em estufa de BOD a 27°C por 7 dias e, posteriormente, realizadas as contagens dos crescimentos dos fungos e leveduras e identificados os principais fungos predominantes nas placas.

O delineamento utilizado foi o fatorial 2 x 2, com dois tratamentos (Boi-tatá e Paraguaia) e duas conservações (*in natura* e fenada). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância do *software* SAS Studio (SAS OnDemand for Academics), considerando-se modelo linear misto com efeitos fixos para os fatores variedade e conservação, bem como sua interação. O método de estimação dos parâmetros foi o Restricted Maximum Likelihood (REML), adotando-se estrutura de covariância diagonal e cálculo dos graus de liberdade pelo método residual. As comparações entre médias foram realizadas por meio dos valores ajustados (Least Squares Means – LSMeans), sendo consideradas significativas as diferenças, cuja probabilidade de erro é inferior a 5% ($p < 0,05$).

O modelo estatístico geral utilizado pode ser representado por:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + C_j + (VC)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

- Y_{ijk} = valor observado da variável resposta;
- μ = média geral;
- V_i = efeito fixo da *i*-ésima variedade;
- C_j = efeito fixo da *j*-ésima forma de conservação;
- $(VC)_{ij}$ = interação entre variedade e conservação;
- ε_{ijk} = erro experimental, com distribuição normal e homocedástica.

3.3 Resultados

A análise da composição bromatológica da parte aérea da mandioca das cultivares Boi-tatá e Paraguaia, nas condições *in natura* e conservada na forma de feno, evidenciou que o fator de maior influência foi o tipo de conservação, enquanto as diferenças entre as variedades foram menos expressivas (Tabela 1).

A matéria seca (MS) apresentou valores significativamente superior no feno (cerca de 86%) em comparação ao material *in natura* (aproximadamente 23%) ($p < 0,0001$), sem diferença significativa entre as variedades ($p = 0,2842$). Ressalte-se, também, que os teores de matéria mineral (MM) variaram entre 7,96% e 8,44%, e a matéria orgânica (MO) manteve-se estável, não apresentando diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ou cultivares ($p > 0,38$).

A proteína bruta (PB) variou de 12,37% a 13,88%, com redução no feno da cultivar Paraguaia ($p = 0,0049$) e aumento na cultivar Boi-tatá ($p = 0,0341$). Apesar disso, não se observou efeito significativo do fator variedade.

Os valores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram significativamente mais altos no feno em relação ao material *in natura*, em ambas as cultivares ($p < 0,0001$). De forma consistente, a lignina também apresentou elevação expressiva após a fenação, principalmente na cultivar Boi-tatá ($p = 0,0001$).

O extrato etéreo (EE) apresentou baixos teores e não variou significativamente ($p > 0,25$). De modo semelhante, os carboidratos totais (CT) permaneceram estáveis entre os tratamentos ($p > 0,27$), enquanto os carboidratos não fibrosos (CNF) apresentaram redução significativa após a fenação em ambas as cultivares ($p < 0,001$).

Tabela 1. Composição bromatológica da parte aérea da mandioca *in natura* e conservada na forma de feno, das cultivares Boi-tatá e Paraguaia

Nutrientes	Parte aérea de mandioca				DP ¹	P valor			
	Boi-tatá (B)		Paraguaia (P)			Variedade		Conservação	
	<i>In natura</i> (I)	Feno (F)	<i>In natura</i> (I)	Feno (F)		IB X IP	FB X FP	IB X FB	IP X FP
MS	23,12	86,19	23,98	86,34	0,54	0,2842	0,2909	<0,0001	<0,0001
MM	8,44	8,20	7,96	8,40	0,38	0,4323	0,8408	<0,0001	<0,0001
MO	91,56	91,80	92,04	91,60	0,38	0,3859	0,709	0,6638	0,4193
PB	12,83	13,88	13,20	12,37	0,31	0,4177	0,0049	0,0341	0,0829
FDN	46,30	53,62	42,54	52,67	0,24	<0,0001	0,0143	<0,0001	<0,0001
FDA	38,42	45,43	38,41	45,47	0,16	0,9668	0,8581	<0,0001	<0,0001
EE	1,22	0,93	1,37	1,08	0,17	0,5483	0,5352	0,2546	0,2625
Lignina	16,97	18,32	17,48	18,10	0,17	0,0589	0,3704	0,0001	0,0239
CT	77,51	76,99	77,47	78,14	0,70	0,9691	0,2725	0,6147	0,5138
CNF	31,21	23,37	34,93	25,47	0,74	0,0041	0,0691	<0,001	<0,001

¹DP = Desvio padrão da média. Teste de Tukey a 5% de probabilidade. (MS) Matéria seca. (MM) Matéria mineral. (MO) Matéria orgânica. (PB) Proteína bruta. (FDN) Fibra em detergente neutro. (FDA) Fibra em detergente ácido. (LIG) Lignina.

(EE) Extrato etéreo. (CT) Carboidratos totais. (CNF) Carboidratos não fibrosos.

A análise do fracionamento das proteínas nas cultivares Boi-tatá e Paraguaia, nas condições *in natura* e após conservação na forma de feno, indicou que o tipo de conservação foi o principal fator que influenciou as frações proteicas, enquanto as diferenças entre as variedades foram menos pronunciadas (Tabela 2).

A fração A, representativa da proteína solúvel rapidamente degradável no rúmen, apresentou redução significativa após a fenação em ambas as cultivares ($p < 0,001$), diminuindo de aproximadamente 26,55% para 18,74% em Boi-tatá e de 24,96% para 17,9% em Paraguaia.

Em contrapartida, a fração B1, composta por proteínas de degradação lenta, mostrou valores significativamente maiores em Boi-tatá *in natura* (15,38%) que diminuíram no feno (12,15%). Para a cultivar Paraguaia, entretanto, observou-se aumento da fração B1 após a fenação, de 13,27% para 15,26% ($p < 0,05$). Quanto à fração B2, que representa proteínas de degradação intermediária, permaneceu relativamente estável entre tratamentos e cultivares, com valores médios variando entre 24,48% e 28,37% ($p > 0,1$). Por outro lado, a fração B3, constituída por proteínas lentas e resistentes à degradação ruminal, aumentou significativamente no feno em ambas as cultivares ($p = 0,0034$), passando de 14,39% para 24,62% em Boi-tatá e de 18,10% para 22,61% em Paraguaia. Finalmente, a fração C, composta por proteínas indigestíveis, apresentou redução significativa após a fenação ($p < 0,001$), caindo de cerca de 34% para aproximadamente 20% em ambas as cultivares.

Tabela 2: Fracionamento de proteínas da parte aérea da mandioca *in natura* e conservada na forma de feno, das cultivares de mandioca Boi-tatá e Paraguaia

Nutrientes	Parte aérea de mandioca				DP ¹	P valor			
	Boi-tatá (B)		Paraguaia (P)			Variedade		Conservação	
	In natura (I)	Feno (F)	In natura (I)	Feno (F)		IB X IP	FB X FP	IB X FB	IP X FP
FRAÇÃO A	26,55	18,74	24,96	17,9	0,69	0,1269	0,4092	<0,001	<0,001
FRAÇÃO B1	15,38	12,15	13,27	15,26	0,62	0,0343	0,0042	0,0033	0,0437
FRAÇÃO B2	25,01	24,48	28,37	26,00	0,99	0,0338	0,3008	0,713	0,1168
FRAÇÃO B3	14,39	24,62	18,10	22,61	0,88	0,1915	0,0034	<0,001	<0,001
FRAÇÃO C	34,04	20,00	34,00	20,76	0,72	0,9711	0,4705	<0,001 /	<0,001

DP = Desvio padrão da média. Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi significativamente maior no material *in natura* comparado ao feno para ambas as cultivares, com médias de 66,12% e 65,99% para Boi-tatá e Paraguaia *in natura*, reduzindo para 53,76% e 52,80% após a fenação, respectivamente ($p < 0,001$). Em contrapartida, a digestibilidade *in vitro* da proteína bruta (DIVPB) foi significativamente maior no feno em relação ao material *in natura* para ambas as cultivares ($p < 0,001$), aumentando de 46,64% para 51,01% em Boi-tatá e de 48,22% para 51,04% em Paraguaia.

De maneira análoga, a digestibilidade da fibra em detergente neutro (DIVFDN) também aumentou significativamente após a fenação, passando de 37,60% para 41,15% em Boi-tatá e de 37,77% para 43,01% em Paraguaia ($p < 0,001$).

Por fim, não foram observadas diferenças significativas entre as variedades para nenhum dos parâmetros de digestibilidade ($p > 0,27$).

Tabela 3: Digestibilidade *in vitro* da parte aérea da mandioca *in natura* e conservada na forma de feno, das cultivares de mandioca Boi-tatá e Paraguaia

Nutrientes	Parte aérea de mandioca				DP ¹	P valor			
	Boi-tatá (B)		Paraguaia (P)			Variedade		Conservação	
	In natura (I)	Feno (F)	In natura (I)	Feno (F)		IB X IP	FB X FP	IB X FB	IP X FP
DIVMS	66,12	53,76	65,99	52,80	0,27	0,7347	0,0291	< 0,001	< 0,001
DIVPB	46,64	51,01	48,22	51,04	0,32	0,0044	0,9549	< 0,001	< 0,001
DIVFDN	37,60	41,15	37,77	43,01	0,37	0,7956	0,0041	< 0,001	< 0,001

DP = Desvio padrão da média. Teste de Tukey a 5% de probabilidade. (DIVMS) Digestibilidade *in vitro* na matéria seca. (DIVPB) Digestibilidade *in vitro* na proteína bruta. (DIVFDN) Digestibilidade *in vitro* na fibra em detergente neutro

A análise microbiológica do feno da parte aérea das cultivares Boi-tatá e Paraguaia mostrou diferenças significativas na contagem de fungos e leveduras (Tabela 4). A cultivar Paraguaia apresentou maior contagem de fungos, com média de 4,33 log UFC g⁻¹, enquanto Boi-tatá registrou 3,91 log UFC g⁻¹ (p = 0,0001). Por outro lado, a contagem de leveduras foi maior no feno de Boi-tatá (5,81 log UFC g⁻¹) comparada a Paraguaia (4,21 log UFC g⁻¹) (p < 0,001).

Tabela 4: Avaliação microbiológica do feno da parte aérea da mandioca das cultivares Boi-tatá e Paraguaia

Microbiologia	Parte aérea de mandioca			P valor
	Feno Boi-tatá (B)	Feno Paraguaia (P)	DP ¹	Variedade FB X FP
Fungos (log UFC g ⁻¹)	3,91	4,33	0,04	0,0001
Leveduras (log UFC g ⁻¹)	5,81	4,21	0,06	<0,001

DP = Desvio padrão da média. Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da análise microbiológica do feno das cultivares Boi-tatá e Paraguaia foram identificados os gêneros fúngicos *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Cladosporium*, que apresentaram diferenças significativas nas cargas fúngicas entre as cultivares (Figura 1).

A cultivar Paraguaia apresentou maiores contagens de *Fusarium* (4,07 log UFC g⁻¹), *Penicillium* (2,22 log UFC g⁻¹) e *Aspergillus* (3,74 log UFC g⁻¹), enquanto Boi-tatá apresentou menores níveis desses gêneros (3,61; 0,66; 1,46 log UFC g⁻¹, respectivamente). O fungo *Cladosporium* foi detectado somente em Boi-tatá (2,05 log UFC g⁻¹) e esteve ausente nas amostras da cultivar Paraguaia.

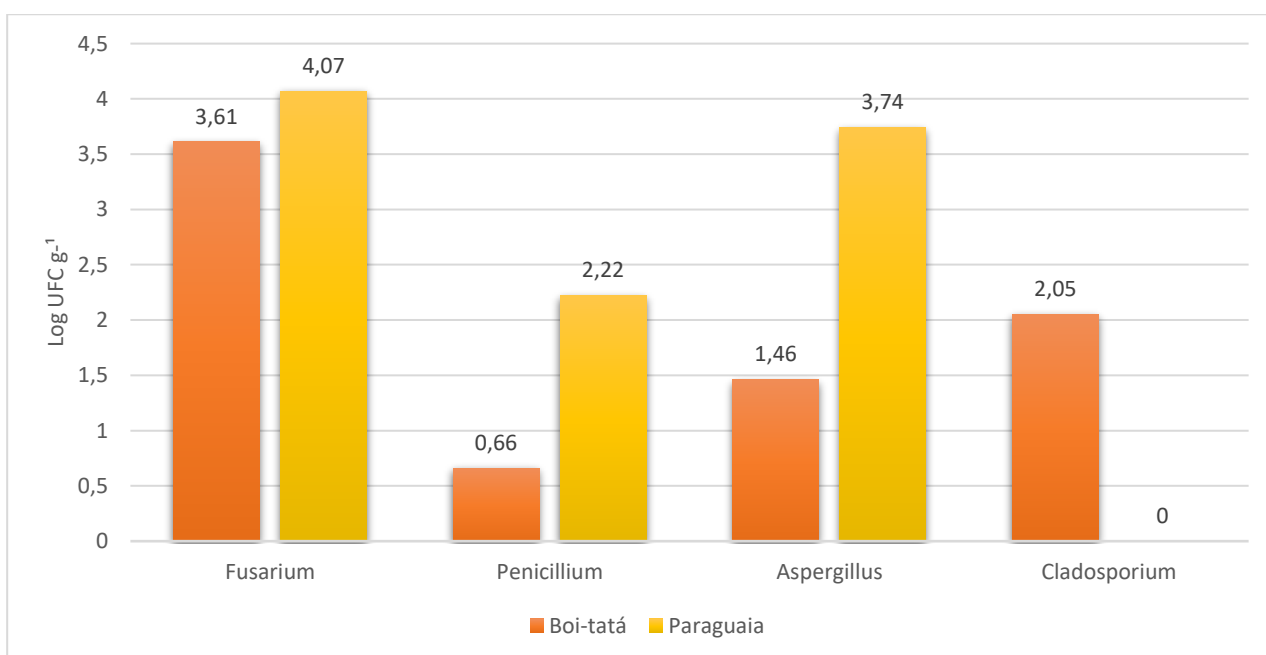


Gráfico 2: Presença de fungos nos fenos da parte aérea da mandioca (PAM) das variedades Boi-tatá e Paraguaia

3.4 Discussão

O aumento do teor de MS no feno em relação ao material *in natura* reflete o efeito esperado da desidratação no processo de fenação, reduzindo drasticamente o conteúdo de água da forragem (Van soest, 1994). A ausência de diferenças entre cultivares para MS indica composição hídrica inicial semelhante.

A estabilidade observada nos teores de MM e MO sugere que a fenação, quando realizada com manejo de secagem adequado, não ocasiona perdas significativas de minerais, resultado que corrobora estudos prévios sobre conservação de forragens (Van soest, 1994; Mertens, 2005).

A variação nos teores de PB entre cultivares pode estar relacionada a perdas de nitrogênio solúvel durante a secagem, decorrentes da volatilização de amônia e degradação proteica (Broderick; Kang, 1980; Phuapaiboon et al., 2022). Além disso, fatores genéticos podem influenciar a retenção de nitrogênio na planta (Wanapat et al., 2013).

O aumento de FDN e FDA após a fenação se deve à concentração relativa dessas frações, em função da perda de componentes solúveis e da degradação parcial de carboidratos não estruturais durante a secagem (Van soest, 1994; Silva et al., 2019). A elevação da lignina pode estar associada à formação de complexos lignina-carboidratos durante a desidratação, os quais reduzem a digestibilidade da fibra (Theander et al., 1995). Essa alteração foi mais pronunciada na cultivar Boitátá, sugerindo possível impacto negativo no valor energético da forragem.

A manutenção dos baixos teores de EE está de acordo com a composição típica de forragens tropicais, nas quais os lipídios representam uma fração mínima e são pouco afetados pelo processo de fenação (Jung & Allen, 1995).

A redução significativa dos CNF após a fenação indica perda de açúcares solúveis e amido, componentes de rápida fermentação no rúmen e essenciais para a produção de energia (Montagnac et al., 2009; NRC, 2001). Em sistemas intensivos de produção, essa diminuição pode impactar o desempenho animal, exigindo ajustes na formulação da dieta para manter o aporte energético adequado.

A redução observada na fração A após a fenação pode ser atribuída à perda ou desnaturação das proteínas solúveis durante o processo de secagem, o que limita a disponibilidade imediata de nitrogênio para a microbiota ruminal, impactando a eficiência da síntese microbiana e a produtividade animal (Sniffen et al., 1992; Broderick & Kang, 1980).

As variações na fração B1 entre cultivares sugerem que o processamento pode alterar a distribuição das proteínas de degradação lenta, possivelmente devido a modificações estruturais e associações com componentes da parede celular (Van soest, 1994). A elevação da fração B1 em Paraguaia após fenação pode favorecer uma liberação gradual de nitrogênio no rúmen, importante para o balanço proteico da dieta.

A estabilidade da fração B2 durante a fenação indica resistência dessa fração às alterações provocadas pelo processo de conservação, mantendo sua contribuição para o fornecimento de proteína de degradação intermediária.

O aumento da fração B3 após fenação pode resultar da formação de complexos proteína-fibra e da desnaturação proteica, dificultando a degradação no rúmen e aumentando a oferta de proteína bypass ao intestino, o que é benéfico para o aporte de aminoácidos ao animal (JUNG; Allen, 1995; Broderick & Kang, 1980).

A redução da fração C sugere que parte das proteínas inicialmente indigestíveis sofre degradação ou modificação durante a fenação, o que pode elevar o valor nutritivo da forragem fenada, embora essa fração normalmente seja pouco afetada pela conservação (Van soest, 1994).

A redução da digestibilidade da matéria seca após a fenação está associada ao aumento das frações fibrosas e da lignina, componentes menos degradáveis pela microbiota ruminal (Van soest, 1994; Jung & Allen, 1995). Além disso, o processo de secagem pode provocar ligações cruzadas entre proteínas e carboidratos, reduzindo a disponibilidade dos nutrientes (Theander et al., 1995).

O aumento da digestibilidade da proteína bruta após a fenação pode ser explicado pela desnaturação parcial das proteínas durante a secagem, o que facilita o acesso enzimático *in vitro*, assim como pela redução das frações solúveis e rapidamente degradáveis, favorecendo frações proteicas mais estáveis e digestíveis (Broderick & Kang, 1980; Phuapaiboon et al., 2022).

A melhora da digestibilidade da fibra em detergente neutro pode estar relacionada a alterações estruturais nas paredes celulares durante a fenação, que facilitam o ataque microbiano *in vitro* (Silva et al., 2019; Montagnac et al., 2009). Contudo, é importante considerar que a digestibilidade *in vitro* pode não refletir perfeitamente a digestão ruminal em condições reais.

A realização da fenação durante o inverno, caracterizado por alta umidade relativa do ar, frequentes orvalhos e chuvas, prolongou o tempo de secagem para cerca de 20 dias. Esse cenário desfavorável pode ter contribuído para a redução da DIVMS no feno, uma vez que a maior exposição a condições úmidas intensifica reações químicas como ligações de Maillard, reduzindo a solubilidade e degradabilidade das proteínas e carboidratos (Van soest, 1994; Broderick & Kang, 1980). Ainda, o aumento da umidade pode favorecer deterioração parcial ou fermentações indesejadas, alterando a estrutura da forragem e impactando sua qualidade (Silva et al., 2019).

Estudos indicam que a fenação realizada em períodos secos e ensolarados resulta em maior qualidade do feno, com menores perdas de nutrientes e melhor digestibilidade, enquanto condições úmidas prejudicam esses parâmetros (Phuapaiboon et al., 2022; Montagnac et al., 2009). Dessa forma, a época do ano e as condições climáticas são fatores críticos para o sucesso do processo de fenação e a qualidade da forragem produzida.

A ausência de diferenças entre as variedades nos parâmetros de digestibilidade indica comportamento semelhante das cultivares Boi-tatá e Paraguaia quanto ao processamento e aproveitamento da parte aérea.

Em síntese, apesar da redução da digestibilidade da matéria seca após a fenação, o aumento da digestibilidade da proteína e da fibra *in vitro* pode contribuir para um melhor balanço nutricional e eficiência alimentar em ruminantes, desde que os efeitos negativos da época e do tempo de secagem prolongado sejam minimizados para garantir a qualidade do feno.

As diferenças na microbiota fúngica e de leveduras entre as cultivares podem estar relacionadas às características fisiológicas e composição química distintas dos fenos, que influenciam a proliferação microbiana durante o armazenamento (Mcdonald et al., 1991; Weinberg & Muck, 1996). A maior contagem de fungos no feno de Paraguaia indica maior suscetibilidade à contaminação, possivelmente devido à estrutura da forragem, composição fibrosa e umidade residual após secagem.

A elevada presença de leveduras no feno de Boi-tatá é relevante, pois esses microrganismos podem promover tanto a deterioração do feno, consumindo açúcares solúveis e alterando as características sensoriais, quanto processos fermentativos que podem ser benéficos ou prejudiciais conforme o contexto (Pahlow et al., 2003). Altos níveis de leveduras indicam risco aumentado de aquecimento e perda da qualidade do feno durante o armazenamento (Weinberg & Muck, 1996).

Apesar das contagens encontradas estarem dentro de faixas consideradas aceitáveis para fenos destinados à alimentação animal (Mcdonald et al., 1991), o monitoramento constante é essencial para prevenir problemas relacionados a micotoxinas e redução da qualidade nutricional (Paterson & Lima, 2010).

As condições climáticas durante o período de secagem — inverno com alta umidade e prolongado tempo de exposição — podem ter favorecido a proliferação microbiana, especialmente em áreas onde o feno manteve umidade acima do ideal (>14%) (Silva et al., 2019). Dessa forma, a eficiência da secagem e o controle ambiental são cruciais para a produção de feno microbiologicamente seguro.

As diferenças na colonização fúngica podem ser atribuídas às características intrínsecas das cultivares, bem como às condições ambientais e ao processo de fenação. O corte da parte aérea ocorreu durante o inverno no Paraná, caracterizado por sol moderado durante o dia e noites frias com orvalho frequente, cujas condições influenciaram o desenvolvimento da microbiota fúngica.

Apesar da insolação, a presença de orvalho aumentou a umidade superficial do material, dificultando a evaporação e retardando a desidratação, criando um microclima favorável à proliferação de fungos filamentosos adaptados à umidade intermitente, como *Aspergillus* e

Penicillium. A alternância térmica também pode ter favorecido condensação interna no material, elevando o risco microbiológico.

De acordo com Silva et al. (2020), a lentidão na secagem sob alta umidade ou oscilações térmicas prolongam o crescimento de fungos toxigênicos, especialmente quando o processo excede 10 dias, como neste estudo. *Fusarium* pode colonizar materiais úmidos rapidamente e produzir micotoxinas, mesmo em temperaturas amenas (SANTOS et al., 2018). A maior colonização em Paraguaia pode estar associada à sua estrutura física mais densa ou maior conteúdo de carboidratos solúveis, substratos para o crescimento fúngico.

A presença exclusiva de *Cladosporium* em Boi-tatá pode indicar contaminação ambiental durante armazenamento ou final da secagem, já que esse fungo é saprófita, comum em ambientes úmidos e frios, com baixa toxigenicidade, mas potencial para deterioração nutricional (Lima et al., 2019).

Esses resultados ressaltam a importância das condições microclimáticas durante a fenação, incluindo temperatura, umidade e presença de orvalho, que são determinantes para a qualidade higiênico-sanitária do feno. Estratégias como colheita em dias seguidos de sol, revolvimento frequente, menor compactação e uso de estruturas cobertas são recomendadas para minimizar riscos de contaminação e preservar o valor nutricional do volumoso.

3.5 Conclusão

A produção do feno ocorreu durante a poda, na estação chuvosa e de alta umidade no Oeste do Paraná, simulando condições reais e desafiadoras para a conservação do material. Os resultados indicam que a parte aérea da mandioca é viável como volumoso fenado, agregando valor a um subproduto agrícola normalmente descartado. Apesar da necessidade de manejo cuidadoso do tempo de secagem e controle microbiológico, o feno pode ser incorporado às dietas, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência dos sistemas produtivos.

3.6 Referências

- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16. ed., Arlington: AOAC International, 1990. 1025p.
- BARROS, M. C. C.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, J. F.; RODRIGUES, R. C.; FERREIRA, A. C. H. **Qualidade nutricional de forragens conservadas em regiões tropicais**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20200102, 2021.
- BENEVIDES, J. M.; ALMEIDA, J. M.; SOUSA, M. J.; et al. **Intoxicação por ácido cianídrico em animais: sintomas e tratamento**. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v. 33, n. 2, p. 145–152, 2011.
- BORGES, A. L. C. C. et al. **Uso de subprodutos da mandioca na alimentação de ruminantes**. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 21, 2020.
- BRODERICK, G. A.; KANG, J. H. **Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media**. *Journal of Dairy Science*, v. 63, n. 1, p. 64–75, 1980.
- BRITO, A.F., et al. **Utilização de subprodutos agrícolas na alimentação de ruminantes: impacto econômico e ambiental**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47(3), e20170232, 2018.
- CARDOSO, A. P. et al. **Processing of cassava roots to remove cyanogens**. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 18, p. 451–460, 2005.
- CAVALCANTE, R. S.; MEDEIROS, H. R.; SILVA, J. H. V.; SANTOS, E. M.; MORAIS, M. G. **Composição bromatológica da parte aérea da mandioca submetida a diferentes idades de corte e métodos de conservação**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 15, n. 1, p. 80–86, 2020.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. M. M. **Tecnologia, uso e potencialidades da mandioca**. Série: Culturas de raízes e tubérculos amiláceos, v. 2. São Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2003. 278 p.
- CHÁVEZ, A. L. et al. **Nutritional factors in cassava roots and leaves for use as human food**. *Food Reviews International*, v. 21, p. 1-27, 2005.
- COSTA, F.G.P., et al. **Potencial da parte aérea da mandioca como fonte proteica na dieta de ruminantes**. *Revista Brasileira de Ciência Animal*, v. 14, p.112-127, 2022.
- DETMANN, E. et al. **Avaliação do valor nutritivo de alimentos para ruminantes**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 214 p.
- DETMANN, E. (2014). **Nutrição de ruminantes**. Visconde do Rio Branco: Suprema.
- DEVENDRA, C. Cassava as a feed source for ruminants. In: NESTEL, B.; GRAHAM, M. (Ed.). **Cassava as animal feed**. Ottawa: IDRC, 1977. p. 107–119.
- DOMICIANO, K. S.; CAMPOS, F. P.; PEREIRA, E. S. **Composição bromatológica e digestibilidade in vitro da parte aérea da mandioca com diferentes sistemas de conservação**. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 63, n. 1, p. 129–137, 2011.

- FREITAS, A. W. P.; FERREIRA, M. A.; MODESTO, E. C. **Composição químico-bromatológica da parte aérea da mandioca em diferentes idades de rebrota.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 2, p. 204–210, 2006.
- GARCIA, R.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, A. S.; et al. **Valor nutritivo da silagem de parte aérea da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) com adição de farelo de milho.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 6, p. 1003–1010, 2008.
- JUNG, H. G.; ALLEN, M. S. **Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants.** *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 9, p. 2774–2790, 1995.
- LIMA, R. S.; SANTOS, F. A. P.; OLIVEIRA, D. E.; et al. **Alternativas forrageiras para alimentação de ruminantes em regiões semiáridas.** *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 20, p. 1–15, 2019.
- LIMA, R. P.; COSTA, A. C.; SANTOS, L. M.; et al. **Avaliação da qualidade microbiológica de fenos armazenados sob diferentes condições ambientais.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 2, p. 45–52, 2019.
- MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage.** 2. ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340 p.
- MERTENS, D. R. Rate and extent of digestion. In: ALLEN, M.; et al. (Eds.). **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.** 2. ed. Wallingford: CAB International, 2005. p. 13–47.
- MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. **Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. Comprehensive. Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 8, n. 3, p. 181–194, 2009.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381 p.
- PAHLOW, G.; MUCK, R. E.; DRIEHUIS, F.; et al. Microbiology of ensiling. In: BUCHGRABER, K.; et al. (Eds.). **Silage production and utilization. Proceedings of the XIV International Silage Conference.** Brno: CABI Publishing, 2003. p. 31–46.
- PHUAPAIBOON, P.; TANGPANITSAKUL, P.; SIRICHOKCHATCHAWAN, W. **Effect of drying methods and storage periods on quality of dried cassava foliage.** *Agriculture and Natural Resources*, v. 56, n. 1, p. 16–24, 2022.
- PHUAPAIBOON, P.; et al. **Evaluation of cassava hay and its effects on rumen fermentation, digestibility and milk production in dairy cows: a meta-analysis.** *Animal Feed Science and Technology*, v. 293, p. 115447, 2022.
- PATERSON, R. R. M.; LIMA, N. **How will climate change affect mycotoxins in food?** *Food Research International*, v. 43, n. 7, p. 1902–1914, 2010.
- SANTOS, R. L.; OLIVEIRA, J. F.; MENDES, A. L.; et al. **Ocorrência de fungos toxigênicos e produção de micotoxinas em fenos tropicais conservados em diferentes épocas do ano.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, n. 3, p. 853–860, 2018.

- SILVA, R. D. M.; RIBEIRO, M. F. S.; NASCIMENTO, T. V. C.; et al. **Avaliação da qualidade microbiológica do feno em diferentes sistemas de secagem.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3, p. 799–809, 2019.
- SILVA, T. C.; et al. **Características morfológicas e nutricionais da parte aérea da mandioca em diferentes idades de rebrota.** *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 6, n. 4, p. 39–45, 2019.
- SILVA, T. M.; BARBOSA, A. R.; FONSECA, H. N.; et al. **Influência das condições ambientais na secagem de forragens e desenvolvimento de fungos micotoxigênicos.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 21, e50395, p. 1–9, 2020.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. **A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability.** *Journal of Animal Science*, v. 70, p. 3562–3577, 1992.
- SHIBATA, M. R. Parâmetros bromatológicos e microbiológicos de silagens do terço superior da rama de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2023. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6771/5/Murilo_Shibata_2023.pdf. Acesso em: 03 set. 2025.
- TININI, R. C. R. Parte aérea da mandioca como um alimento alternativo na dieta de vacas em lactação. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2018. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4301/6/Rodrigo_Tinini_2018. Acesso em: 03 set. 2025.
- THEANDER, O.; WESTERLUND, E. A.; AMAN, P. Chemical composition and structure of dietary fiber. In: SPIEGEL, L. (Ed.). **Advanced dietary fiber technology**. Oxford: Blackwell Science, 1995. p. 102–119.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.
- WANAPAT, M.; POLAN, C. E.; CHANTAPRASARN, T. **Effects of carbohydrate source and level of cottonseed meal in the concentrate on feed intake, rumen fermentation and microbial population in swamp buffaloes.** *Animal Feed Science and Technology*, v. 180, p. 89–97, 2013.
- WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. **New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage.** *FEMS Microbiology Reviews*, v. 19, n. 1, p. 53–68, 1996.