



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



CURVAS DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE *Urochloa* spp.

Letícia Silva Sales
Engenheira Agrônoma

Dourados - MS
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



CURVAS DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE *Urochloa* spp.

Letícia Silva Sales

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucas Terra Peixoto

Co-orientador: Prof. Dr. Mábio Silvan José da Silva

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias da Universidade Federal
da Grande Dourados, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Zootecnia**

Dourados - MS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S163c Sales, Leticia Silva

FENOS DE UROCHLOA CURVAS DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE
spp. [recurso eletrônico] / Leticia Silva Sales. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientador:

Eduardo Lucas Terra Peixoto.

Coorientador: Mábio Silvan José Da Silva.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal
da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório

Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. cinética de secagem. 2. ipyporã. 3. modelagem
matemática. 4. sabiá. 5. 780J. I. Peixoto, Eduardo Lucas Terra. II. Silva, Mábio Silvan

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

CURVAS DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE *Urochloa* spp.

Letícia Silva Sales

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 26 de fevereiro de 2026, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Seno
Instituição UFGD

Prof.^(a) Dr.^(a) Marcela Abbado Neres
Instituição UNIOSTE

Prof. Dr. Eduardo Lucas Terra Peixoto
Orientador

BIOGRAFIA DO AUTOR

Letícia Silva Sales, nascida em 11 de outubro de 1999, às 15:20, na cidade de Goiânia-GO, filha de Marilena Pereira da Silva Borges e Leonardo Santos Borges (*in memoriam*). Formada em Agronomia pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), na cidade de Marabá-PA, no ano de 2023, onde desenvolveu interesse pela área de forragicultura e pastagem. Fez estágio na propriedade Agropecuária R10 de 2022 a 2023, além de participar de projeto de extensão durante a graduação.

Em março de 2024 ingressou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), aprofundando-se no estudo de modelagem matemática aplicada a desidratação de forragens tropicais e desenvolvendo pesquisa na área da cinética de desidratação de materiais forrageiros. Durante todo esse período, integrou o Núcleo de Pastagens e Autonomia Forrageira. Em dezembro de 2025 foi aprovada no exame geral de qualificação do mestrado. Em fevereiro de 2026, submeteu-se a defesa de mestrado.

EPÍGRAFE

“Muitas vezes, as dificuldades que aparecem em nosso caminho são exatamente o que nos prepara para receber aquilo que tanto desejamos. A dor molda, a paciência fortalece.”

- Santa Terezinha do menino Jesus

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu Papito Leonardo (*in memoriam*) que sempre confiou na “maluca” para “ganhar o mundo” e aprender a fazer “de comer” para nossas éguas, que me amou incondicionalmente e sempre me protegeu, foi o presente de Deus na minha vida e a essência do meu humor, sotaque e caráter.

À minha mainha Marilena, quem me ergue toda vez, que sempre ora por mim, que me protege, como quando eu era criança, que me ama assim como eu a amo, que embarca nas minhas ideias e confia na minha coragem, pois ela sabe que a mulher que me tornei é fruto do esforço dela.

À minha vó Raimunda (*in memoriam*) todo esforço que fez para que eu estudasse, valeu a pena, eu cheguei aqui com a base forte e disciplina que a senhora me passou, obrigada por puxar meu pé (literalmente) todo dia para eu ir pra escola, hoje eu sinto falta dessa época.

Ao meu irmão “Cabeça de acerola” (Luís Octávio), que é o combustível da minha vida e que nunca se esqueça que tudo que eu faço é por ti, você não nasceu de mim, mas nasceu para mim e eu vou dar meu melhor para ser um exemplo bom para ti. Que Deus cuide da parte que está aqui fisicamente e da que não está, pois meu amor por vocês é tão grande que sempre transborda e, eu tenho orgulho de pertencer a esta família.

Que seja sempre nós, daqui até no céu.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Ns^a Sr^a Aparecida, por me sustentarem e me ampararem todos os dias, pelas orações ouvidas, atendidas e por não me deixar esquecer que sou a filha amada de um Deus vivo.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), à Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), juntamente ao programa de pós-graduação em zootecnia (PPGZ). Agradeço os meus orientadores, Eduardo Lucas Terra Peixoto e Mábio Silvan José da Silva, por não terem soltado a minha mão, pelos ensinamentos, cafés, risadas, conselhos, ajuda dentro e fora da faculdade, por terem confiado em mim e por muitas vezes acreditarem mais em mim do que eu mesma. Vocês dois não mensuram o quanto são importantes para mim e como eu admiro vocês. Obrigada por terem colocado meu “tico teco” para funcionar. E ao CNPq, pela concessão de bolsa.

Agradeço aos professores que contribuíram com mais esta etapa da minha formação, desde a creche até aqui na pós-graduação. À minha turma do cafezinho, pelos muitos cafés, risadas e laços criados. Às minhas amigas Rafaela Ribeiro, Dalila Santos, Luiza Royer e Fernanda Lamed por me darem apoio e puxões de orelha sempre que necessário.

E não poderia deixar de agradecer às pessoas que contribuíram com a pesquisa e minha formação, os grupos de estudo Núcleo de Estudo em Pastagem e Autonomia Forrageira (NEPAF) e o Grupo de Estudo em Nutrição e Produção de Ruminantes (NERU). Grata de coração por toda parceria e companheirismo do Fernando Matheus de Moura Camargo (Mago véi), por não me deixar só em momento nenhum, ser meu ponto de apoio dentro e fora da faculdade e sempre me lembrar que eu dou conta.

E a maior gratidão dessa terra ao meu Papito, Leonardo Santos Borges (*in memoriam*) por ter sustentado meu amor pelos animais e incentivo para “aprender e ensinar para ele”. Ao meu amor “maior de grande” minha Mainha, Marilena Pereira da Silva Borges, a mulher mais forte que eu conheço e admiro. À minha vó Raimunda Leite da Silva (*in memoriam*), por todas as vezes que me levou para escola para ficar “sabida” e nunca fez questão de não demonstrar que eu era a neta preferida. Ao meu irmão, Luís Octávio Pereira da Silva Borges que é o meu bem mais precioso nessa vida. É tudo por vocês e para vocês sempre!

Sumário	Página
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cultivares forrageiras	3
2.2 Sazonalidade na produção de forragem	5
2.3 Fenação	7
2.4 Características das plantas forrageiras para feno	8
2.5 Mecanismos fisiológicos durante a desidratação do feno	8
2.6 Modelos matemáticos	9
3. OBJETIVOS	12
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
CAPÍTULO 2 - MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMAR A TAXA DE DESIDRATAÇÃO DE <i>Urochloa</i> spp.	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 Caracterização da área experimental	22
2.2 Produção de feno	26
2.3 Análise estatística e modelos matemáticos	27
3. RESULTADOS	29
4. DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÃO	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

CAPÍTULO 3- TAXA DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE <i>Urochloas spp.</i>	44
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1 Caracterização da área experimental	47
2.2 Produção de feno	51
2.3 Composição morfológica	51
2.4 Composição químico-bromatológica	52
2.5 Delineamento experimental e procedimentos estatísticos	52
3. RESULTADOS	55
4. DISCUSSÃO	69
5. CONCLUSÃO	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
APÊNDICE A – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DA REVISTA GRASS AND FORAGE SCIENCE	80

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 1 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo de Gompertz para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.....32

Figura 2 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo logístico para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.....33

Figura 3 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo logístico bicompartimental para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.....33

Capítulo 3

Figura 1 - Perda de matéria orgânica ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp em função da trituração ou não da forragem.....66

Figura 2 - Perda de carboidratos não fibrosos (CNF) ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.....67

Figura 3 - Perda de carboidratos totais ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.....68

Figura 4 - Perda de proteína bruta ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.....69

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1 - Dados climatológicos relevantes no período do experimento obtidos da estação meteorológica da Embrapa Centro Oeste de Dourados.....	23
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0 a 0,3m de profundidade.....	25
Tabela 3 - Modelos não lineares avaliados.....	27
Tabela 4 - Avaliação dos modelos não lineares na estimativa da curva de desidratação de fenos de <i>Urochoa spp.</i> , segundo teste de normalidade de Shapiro Wilk	29
Tabela 5 - Valores médios e significância dos parâmetros dos modelos que melhor tiveram qualidade de ajuste por cultivar e forma de processamento do capim a campo.....	31

Capítulo 3

Tabela 1 - Dados climatológicos relevantes no período do experimento obtidos da estação meteorológica da Embrapa Centro Oeste de Dourados.....	48
Tabela 2 - Características físicas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0 a 0,3m de profundidade.....	50
Tabela 3 - Médias e desvio padrão da composição morfológica das cultivares estudadas.....	56
Tabela 4 - Média, intervalo de confiança (95%) e valores de probabilidade para os fatores cultivar, processamento e interação dos parâmetros da cinética de desidratação de fenos de cultivares de <i>Urochloa spp</i> trituradas (FT) ou não (FNT).....	58
Tabela 5 - Composição químico-bromatológica média dos fenos de cultivares de <i>Urochloas spp.</i> de forragens trituradas e não trituradas.....	62

CURVAS DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE *Urochloa* spp.

RESUMO - A fenação constitui uma estratégia técnica para auxiliar no planejamento forrageiro e alimentar do rebanho em períodos da entressafra, confinamentos e semiconfinamentos. Atualmente o mercado conta com novos híbridos forrageiros, que prometem características agronômicas superiores, maior valor nutritivo e resistência a pragas, além de facilidade de desidratação, que é o ponto chave para o sucesso da fenação. Neste cenário, o uso de modelagem matemática pode ser uma ferramenta estratégica para auxiliar no processo de fenação, por permitir estimar a taxa de desidratação desse material. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a acurácia de modelos não lineares na predição da taxa de desidratação de cultivares de *Urochloa* spp., bem como investigar os efeitos das cultivares e da trituração pós-corte sobre o valor nutricional e a qualidade potencial dessas forragens para fenação. Conduzido em Dourados-MS, o experimento utilizou delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4, testando dois processamentos (forragem triturada - FT e forragem não triturada - FNT) e quatro cultivares (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã e BARG156 780J) por meio de curvas de desidratação e análises bromatológicas durante 80 horas após o corte das forragens. Foram utilizados os modelos Gompertz, Logístico, Newton, Page, Page modificado, Logístico bicompartimental, Thompson, Henderson e Pabis, Exponencial de dois termos, Dois termos, Midilli *et al.*, para estimar a taxa de desidratação dos fenos. Os modelos Modificado de Page, Newton, Henderson e Pabis foram eliminados por não atenderem os pressupostos de normalidade dos resíduos e interpretação biológica. Os modelos Gompertz (R^2 0,88 e AIC 3419,40), Logístico (R^2 0,87 e AIC 3441,78) e Logístico bicompartimental (R^2 0,86 e AIC 3469,81) foram os que tiveram melhor performance e apresentaram adequabilidade estatística e biológica para modelar o processo de desidratação avaliando taxa geral de desidratação e no modelo bicompartimental a taxa nas fases rápida e lenta da secagem. A forragem triturada (FT) aumentou a taxa de desidratação na fase rápida ($k_1 = 0,271$ g/h) em relação a forragem não triturada (FNT = 0,135 g/h), contudo, o FT retardou o início da perda de água, levando 89 minutos para começar a desidratar, contra apenas 42 minutos do FNT. Nutricionalmente, a cultivar Sabiá apresentou a maior perda acumulada de proteína bruta (PB) com média de 4,49 g de PB perdida por hora, valor significativamente superior às demais, enquanto a Ipyporã demonstrou maior estabilidade. O modelo logístico bicompartimental mostrou-se adequado para estimar a taxa de desidratação dos fenos de *Urochloa* spp., permitindo caracterizar a dinâmica de secagem entre diferentes cultivares. Em termos nutricionais, as cultivares Sabiá e 780J destacaram-se como mais recomendadas para a fenação, embora todas as cultivares avaliadas tenham produzido fenos de qualidade satisfatória, com teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) compatíveis com padrões nutricionais desejáveis. A trituração pós-corte alterou a cinética de secagem e contribuiu para a preservação da integridade nutricional, reduzindo perdas de carboidratos e proteínas.

Palavras-chaves: cinética de secagem, ipyporã, modelagem matemática, sabiá, 780J.

DEHYDRATION CURVES AND NUTRITIONAL VALUE OF *Urochloa* spp. HAY

ABSTRACT - Haymaking constitutes a technical strategy to support forage and feeding planning for livestock during off-season periods, as well as in feedlot and semi-feedlot systems. Currently, the market offers new forage hybrids that promise superior agronomic characteristics, higher nutritional value, and resistance to pests, in addition to easier dehydration, which is the key factor for successful haymaking. In this context, the use of mathematical modeling can be a strategic tool to assist in the haymaking process, as it allows the estimation of the dehydration rate of this material. The objective of this study was to evaluate the accuracy of nonlinear models in predicting the dehydration rate of *Urochloa* spp. cultivars, as well as to investigate the effects of cultivars and post-cut grinding on the nutritional value and potential quality of these forages for haymaking. Conducted in Dourados-MS, the experiment used a completely randomized design in a 2×4 factorial scheme, testing two processing methods (ground forage - GF and non-ground forage - NGF) and four cultivars (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã, and BARG156 780J) through dehydration curves and bromatological analyses over 80 hours after forage cutting. The Gompertz, Logistic, Newton, Page, Modified Page, Bicompartimental Logistic, Thompson, Henderson and Pabis, Two-term Exponential, Two-term, and Midilli et al. models were used to estimate the dehydration rate of the hays. The Modified Page, Newton, and Henderson and Pabis models were excluded for not meeting the assumptions of residual normality and biological interpretation. The Gompertz ($R^2 = 0.88$ and $AIC = 3419.40$), Logistic ($R^2 = 0.87$ and $AIC = 3441.78$), and Bicompartimental Logistic ($R^2 = 0.86$ and $AIC = 3469.81$) models showed the best performance, presenting statistical and biological adequacy to model the dehydration process, evaluating the overall dehydration rate and, in the bicompartimental model, the rate in the fast and slow drying phases. Ground forage (GF) increased the dehydration rate in the fast phase ($k_1 = 0.271$ g/h) compared to non-ground forage (NGF = 0.135 g/h). However, GF delayed the onset of water loss, taking 89 minutes to begin dehydration, compared to only 42 minutes for NGF. Nutritionally, the Sabiá cultivar showed the highest cumulative loss of crude protein (CP), with an average of 4.49 g of CP lost per hour, significantly higher than the others, while Ipyporã showed greater stability. The bicompartimental logistic model proved suitable for estimating the dehydration rate of *Urochloa* spp. hays, allowing characterization of drying dynamics among different cultivars. In nutritional terms, the Sabiá and 780J cultivars stood out as the most recommended for haymaking, although all evaluated cultivars produced hays of satisfactory quality, with crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) contents compatible with desirable nutritional standards. Post-cut grinding altered the drying kinetics and contributed to preserving nutritional integrity, reducing losses of carbohydrates and proteins.

Keywords: drying kinetics, ipyporã, mathematical modeling, sabiá, 780J.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

A produção pecuária do Brasil baseia-se fundamentalmente em forrageiras como fonte alimentar de baixo custo, e as forrageiras do gênero *Urochloa* constituem a base essencial na produção a pasto, ocupando grande parte do território nacional, principalmente no Centro-Oeste (Araújo, 2022; Pinheiro, 2017). Entretanto, este setor sofre com a falta de planejamento forrageiro e alimentar, diante da sazonalidade na produção e a vulnerabilidade das forragens às pragas e doenças (Pinheiro, 2017).

Outro fator que limita a produção animal a pasto é a extensa área de pastagens degradadas, predominantemente da espécie *Urochloa brizantha*. Entretanto, os melhoristas têm alcançado avanços expressivos na genética forrageira, com o desenvolvimento de cultivares e híbridos com elevada produtividade e qualidade nutricional, aliada a excelentes desempenhos agronômicos (Pinheiro, 2017).

Uma espécie forrageira de elevado valor nutricional, proveniente da África, relevante na produção animal e, atualmente no melhoramento genético, é a *Urochloa ruziziensis*. Porém, atualmente tem baixa adesão dos produtores, devido a sua vulnerabilidade à cigarrinha-das-pastagens, um inseto-praga frequente (Nogueira, 2019).

Na busca por cultivares mais produtivas e resistentes, novos híbridos, resultantes do cruzamento entre *U. ruziziensis* e *U. brizantha*, têm sido desenvolvidos, a exemplo do híbrido BARG156 780J (Brasil, 2021).

Outro destaque é o BRS RB331 Ipyporã, desenvolvido pela Embrapa Gado de Corte a partir do cruzamento entre *U. ruziziensis* e *U. brizantha* (Valle et al., 2017). Esse híbrido possui maior razão folha: colmo e maiores valores nutricionais (maior teor de proteína e digestibilidade), podendo ser utilizado para animais de alta exigência. Além disso, o BRS RB331 Ipyporã é resistente a cigarrinha-das-pastagens e proporciona melhor ganho médio diário de peso por animal que o capim Marandu (Valle et al., 2017).

O principal desafio na produção de forragem é a sazonalidade, que está relacionada com a disponibilidade de água e as mudanças climáticas, gerando a escassez de pastagem em quantidade e qualidade. Esse período seco, típico no

Centro-Oeste entre maio a setembro, reduz a quantidade e o valor nutricional das plantas, ocasionando diminuição na capacidade de suporte e na produção animal (Paciullo et al., 2008; Detmann, 2022; Jardim et al., 2023).

Diante dessas limitações produtivas, a fenação assume papel estratégico, por permitir o corte da forragem no período de maior disponibilidade e qualidade, para desidratação e conservação do máximo valor nutricional, proporcionando um alimento a ser utilizado nos períodos de estiagem ou entressafra (Evangelista, 2013; Reis; Moreira, 1998). As plantas que devem ser utilizadas para fenação devem apresentar alto valor nutricional superior a 13% de PB e inferior a 65% de FDN, elevada produção realizando o corte das plantas na época das chuvas que permite aproveitar a maior produção de forragem por unidade de área, alta relação folha: colmo (mais folhas e colmos finos) e rápido ciclo de rebrota de 28 a 45 dias (Evangelista, 2013).

A modelagem matemática empregada a desidratação de plantas forrageiras é pouco explorada pelo fato de que no Brasil a maioria dos estudos foca no produto final e não no processo da cinética de secagem, nem na alteração da dinâmica e perdas durante o processo de confecção e armazenamento do feno, avanços metodológicos para desidratação de forragens ainda é pouco explorado, falta de padronização de procedimento analítico (Jobim et al., 2007) além desses fatores tem a questão da heterogeneidade do material que faz com que modelos simples não consigam representar o que de fato ocorre no processo de secagem sem considerar a variação que ocorre por conta da estrutura interna e composição química (Kidane et al., 2025) e a dependência extrema nas variáveis ambientais, o que torna a cinética de secagem difícil de ser prevista por um modelo fixo (Evangelista, 2019).

O estabelecimento de valores numéricos que permitem que as equações traduzam os atributos físicos das forrageiras consegue ser realizado através de modelos matemáticos, auxiliando nas tomadas de decisão do produtor e no planejamento operacional. Modelos sigmóides, empíricos e semi-teóricos (como Gompertz, Logístico, Newton e de Page) são utilizados para ajustar padrões de crescimento ou, mais frequentemente, para descrever e simular a cinética de secagem em função do tempo, sendo essas ferramentas cruciais para a previsão do comportamento e a descrição adequada dos processos (İnan-Çinkir et al., 2024; Ghosh et al., 2024; Buzrul, 2022; Ertekin; Firat, 2017; Martinazzo et al., 2007).

As hipóteses testadas nesta pesquisa foram: 1. Dentre os modelos matemáticos propostos para curvas de desidratação, ao menos um deles consegue se ajustar de maneira satisfatória e predizer a curva de desidratação do feno; 2. O

processamento das forragens, através da trituração, pode modular e acelerar a taxa de desidratação das forragens avaliadas e; 3. É possível produzir fenos de qualidade superior com as novas cultivares híbridas de *Urochloa* spp.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivares forrageiras

Embora as forragens representem uma fonte de alimento de baixo custo, a necessidade de melhoramento genético dos materiais utilizados em sistemas de pastejo e conservação tornou-se fundamental. Esse avanço visa superar limitações como a estacionalidade produtiva e a baixa adaptação a condições adversas, incluindo a resistência a pragas, doenças e solos com deficiência nutricional. Além disso, o melhoramento busca corrigir deficiências bromatológicas, otimizar o consumo animal e renovar as pastagens, garantindo características agronômicas mais produtivas e sustentáveis (Pinheiro, 2017). O gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*), é fundamental para a pecuária brasileira por participar de grande parte das pastagens em extensão territorial, tendo por volta de 40 milhões de hectares desta forragem no centro Oeste do Brasil (Araújo, 2022).

Originária da África, mais precisamente do vale de Ruzi no Congo, a *Urochloa* ruziziensis começou seu processo de melhoramento nos anos 1960. Com o tempo, terminou em desuso entre os produtores, devido à suscetibilidade ao ataque de cigarrinhas-das-pastagens, que é um dos problemas mais recorrentes nas pastagens. A *U. ruziziensis* é uma planta perene, apresenta em média um metro de altura, além de ter um rápido estabelecimento e boa germinação das sementes, mesmo sem incorporação. A espécie requer uma saturação de bases entre 50% e 60%, pH entre 5 e 6,8 e não responde bem a solos ácidos (Nogueira, 2019).

Segundo o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (Brasil, 2021), a cultivar BARG156 780J, oriunda do processo de hibridização, é uma variedade de gramínea tropical mais especificamente do gênero *Urochloa*, que foi desenvolvida no Brasil com a participação dos melhoristas Ulisses José de Figueiredo e Armando Peralta Martinez, sendo essa formada pelo cruzamento da *Urochloa* (brizantha x ruziziensis). A 780J, por ser uma cultivar do tipo tropical, se assemelha a outras cultivares. Algumas características próximas entre as cultivares são: a intensidade e perfilhamento basal no Marandu é de intensidade baixa e na cultivar BARG156 780J média, comprimento de lâmina foliar longo no Marandu e Mulato II, no 780J de longo

a muito longo, a quantidade de sementes por grama no 780J de baixa a média e no Marandu e Mulato II média (Brasil, 2021). A cultivar 780J alcançou médias de 2,46 ton/ha/corte, folha:colmo de 5,22, MS de 264,90 de MN, as proporções de folha e colmo foram de 87,08% e 12,92% nesta ordem, sendo 1,66 cm de largura de folha e 15,40 cm de comprimento de folha (Muglia, 2024).

A cultivar conhecida como BRS RB331 Ipyporã, cujo nome significa “belo começo” em guarani, é uma entre espécies do gênero *Urochloa*, desenvolvida pela Embrapa Gado de Corte. Ela surgiu de um cruzamento em 1992 entre *Urochloa ruziziensis* (R41, tetraploide sexual) e um acesso de *Urochloa brizantha* (B4). Essa combinação só foi lançada oficialmente em 2017, depois de 13 anos de várias avaliações, trabalhando junto com a UNIPASTO (Valle et al., 2017). Ela é uma gramínea de porte baixo e cresce mais espalhada, com colmos finos e folhas pilosas dos dois lados, também tem muitos ramos basais, o que ajuda a aumentar a quantidade de folhas disponíveis para o gado (Euclides et al., 2018; Valle et al., 2017). Quanto ao valor nutricional, a Ipyporã supera cultivares amplamente utilizadas, como a Marandu, o que faz com que ela seja indicada para categorias de animais que têm alta exigência nutricional, como bezerros desmamados e vacas em terço final de gestação ou lactação (Echeverria et al., 2020; Valle et al., 2017). Embora sua produção total de massa seca seja ligeiramente inferior às cultivares Xaraés e Piatã, seus índices de qualidade são superiores, ela se destaca pelo alto teor de proteína bruta, que pode chegar a 18,5%, e pela digestibilidade da matéria orgânica, que fica acima de 74% (Valle et al., 2017).

Um dos principais diferenciais da cultivar BRS RB331 Ipyporã é sua alta resistência às cigarrinhas-das-pastagens, abrangendo os gêneros *Notozulia*, *Deois* e *Mahanarva*. Em termos de manejo e adaptação ambiental, a planta responde eficientemente em solos de fertilidade média, embora apresente a restrição de não tolerar solos encharcados ou com baixa drenagem (Camargo et al., 2022; Echeverria et al., 2020; Euclides et al., 2018; Valle et al., 2017). Quanto ao desempenho animal, dados de campo demonstram a superioridade produtiva desta cultivar em comparação à Marandu, apresentando um Ganho Médio Diário (GMD) de 0,675 kg/animal/dia frente aos 0,580 kg/animal/dia da Marandu, o que a consolida como uma opção estratégica para uma pecuária mais intensiva e sustentável (Camargo et al., 2022; Echeverria et al., 2020; Euclides et al., 2018; Valle et al., 2017). A cultivar Ipyporã também teve médias de produtividade de 2,35 ton/ha/corte, relação folha:colmo 4,78.

MS de 261,60 g/kg de MN, produção total de folha de 85,96%, colmo 14,04%, largura de folha 1,56 cm e comprimento de folha de 13,40 (Muglia, 2024).

No que se refere a morfologia e produtividade, Muglia (2024) avaliando diferentes níveis de adubação nitrogenada (100 e 200 kg de N/ha) obteve, na cultivar *ruzizensis*, médias de 2,05 ton/ha/corte de massa seca, relação folha:colmo de 3,66, matéria seca (MS) 249,50 g/kg de matéria natural (MN), produção de folhas totais 77,67%, colmos 22,33%, além das médias da largura de folha de 1,41 cm e comprimento de folha de 14,49 cm.

A cultivar Convert 330 (sabiá) é o cruzamento da 4ª geração das espécies *U. Brizantha* e *U. ruzizensis*, tem hábito de crescimento ereto e em touceiras, sendo recomendada a altura de entrada de animais com 30cm e saída com 15cm, indicado para pastejo e ensilagem, é um material de palatabilidade muito alta, digestibilidade alta, mas média tolerância à seca e média a baixa tolerância a solos encharcados, exige solos de média a alta fertilidade, além de ter florescimento intenso durante o período de outono o que pode ocasionar no alongamento de colmo podendo limitar o valor nutritivo do material (Borges et al., 2023; Sáez Fety 2022). Para a cultivar Sabiá, os autores reportaram produtividade de 2,35 ton/ha/corte, relação folha: colmo média de 5,53, teor de matéria seca de 255,70 g/kg de MN, produção de folhas de 85,10% e colmo de 14,90% em média na produção total, largura e comprimento de folha 1,57 e 15,04 cm respectivamente (Muglia, 2024).

2.2 Sazonalidade na produção de forragem

A intensidade da estacionalidade na produção forrageira está diretamente associada, fatores climáticos como luz solar, umidade e temperatura, fatores bióticos e ao manejo de pastagem como fertilidade do solo e adubação (Martha júnior et al., 2007; Menezes et al., 2021; Fernandes et al., 2023; Resende et al., 2024), as mudanças climáticas afetam o desenvolvimento das plantas e a sazonalidade produtiva, comprometendo a disponibilidade de forragem para os animais e reduzindo a capacidade de suporte da pastagem (Dos Santos et al., 2025), além da época de escassez hídrica, que é um dos pontos fortes que influenciam nessa estacionalidade, o que ocasiona mudanças na qualidade e disponibilidade de forragem (Paciullo et al., 2008) e na alteração morfológica à medida que o período seco se aproxima, mesmo que fisiologicamente tenham um período de emissão de inflorescência, as plantas tendem a alongar colmo e emitir inflorescência caracterizando que a planta entrou em

estágio reprodutivo, além da queda do valor nutritivo comparado ao período chuvoso (Detmann, 2022).

Considerando que a pecuária é uma das atividades mais importantes do meio agrário e depende diretamente da oferta de forragem, além de suplementos concentrados, essa instabilidade produtiva gera impactos profundos. A sazonalidade não apenas limita a quantidade de biomassa, mas altera drasticamente a composição química do pasto, reduzindo a concentração de proteína bruta e elevando os teores de fibra. Consequentemente, observa-se um prejuízo no aspecto digestivo e no consumo de matéria seca e digestibilidade de nutrientes pelos animais (Reis et al., 2016). Esse fenômeno caracteriza o chamado 'vazio forrageiro', definido como o desprovimento de alimento em períodos estratégicos do ciclo produtivo (Santos et al., 2025).

O regime de chuvas no Brasil é muito variado e influencia a produção de setores que dependem diretamente deste fator climático (Jardim et al., 2023). O Centro-Oeste, possui o clima de savana tropical com inverno seco na maior parte desta região e bioma, sinalizado por distribuição de chuva sazonal, os volumes dessas chuvas ficam concentrados de novembro a março e há uma seca pronunciada de maio a setembro (Jardim et al., 2023). Essa variação na pluviosidade e na sazonalidade é um ponto crítico que influencia diretamente a estrutura da vegetação (Cattelan et al., 2024).

As forrageiras, quando utilizadas como feno ou silagem, podem auxiliar na demanda por alimento de qualidade durante os períodos de escassez na produção de forragem, que podem ser na entressafra ou seca, que são caracterizados pela baixa oferta de forragem e redução no fornecimento de alimento para os animais (Bayão et al., 2016). O desempenho produtivo das espécies forrageiras depende diretamente das condições climáticas e do manejo adotado; situações comuns como baixa disponibilidade de água e temperaturas elevadas comprometem a capacidade fotossintética delas, apresentam baixa produtividade e potencial de crescimento quando expostas a estresses por longos períodos (Dos Santos et al., 2025).

A influência do material genético das cultivares tem relação com a determinação de alguns atributos sobre a influência negativa das variações e as condições climáticas sobre padrões de crescimento das forrageiras (Dos Santos et al., 2025). Esse apontamento reforça a importância de adotar diferentes tipos de manejo de acordo com a cultura e as condições às quais ela está exposta. A estacionalidade da produção de forragem é o nome dado à época em que se tem uma menor produção de forragem devido ao período com menos pluviosidade e disponibilidade de luz solar

para as plantas. Então o período em que é tido como época das águas é onde tem maior oferta de forragem, alto índice pluviométrico e maior fotoperíodo, comparado ao período seco (Sobrinho et al., 2011).

2.3 Fenação

A fenação é uma prática de conservação de forragem que, quando executada de forma correta, auxilia o produtor rural, impactando positivamente o seu sistema de produção. O processo para se produzir feno exige condições climáticas favoráveis (baixa umidade, alta temperatura e alta velocidade do vento), assim o processo corresponde em desidratar a planta, conservando tanto a planta em si, quanto os nutrientes e tendo menor perda de material, tornando possível que este fique armazenado por muito tempo, impulsionando a pecuária, além de ser uma alternativa eficaz de se manter uma boa produção (Evangelista, 2013). A conservação de forragem através da fenação é um método que ajuda principalmente no armazenamento de forragem, pois com o processo de desidratação das plantas auxilia na conservação de grande volume porque diminui as perdas por respiração e deterioração microbológica, especialmente quando estão em condições climáticas favoráveis. A fenação é uma estratégia fundamental para otimizar o manejo de pastagens especialmente em regiões de clima tropical, pois é uma das formas de garantir um alimento de qualidade, mantendo a qualidade e tendo oferta de alimento durante a sazonalidade de forragem para os animais, (Reis; Moreira, 1998).

Comparado a outros tipos de volumosos utilizados na alimentação de animais, o feno possui características que proporcionam um alimento de qualidade e uma logística operacional facilitada para a propriedade. Dos pontos positivos sobre a utilização do feno, de acordo com Evangelista e Lima (2013) têm-se: armazenamento por longos períodos de tempo; suprir a necessidade nutricional de rebanhos em diferentes épocas, inclusive na entressafra; animais abatidos em épocas de melhor preço; economia pelo custo de produção e redução de gastos com outros alimentos; ajuste de taxa de lotação até mesmo no verão; pode ser produzido em grande e pequena escala; otimização de armazenamento pela capacidade de comportar muita forragem em pouco espaço; flexibilidade de armazenamento; facilidade em comercializar; Independe de processos fermentativos; não estraga na hora de ofertar aos animais; Pode ser usada diferentes tipos de espécies forrageiras, respeitando suas características morfológicas.

2.4 Características das plantas forrageiras para feno

As plantas forrageiras diferem morfológicamente umas das outras, mesmo assim, com o manejo correto e tecnologia que correspondam às particularidades de cada planta, é possível realizar o processo de fenação (Evangelista; Lima 2013). Plantas que têm o ciclo de crescimento rápido, valor nutricional alto e poucas perdas mecânicas, bioquímicas, biológicas ou até mesmo perda por conta das condições climáticas são as mais indicadas para esse processo (Leão et al., 2017; Uijtewaal et al., 2017; Tokarchuk et al., 2025).

As forrageiras têm características desejáveis para fenação, (Evangelista; Lima 2013) destaca cinco pontos importantes para espécies adequadas para conservação, são elas: o valor nutricional elevado; alta produção de forragem por unidade de área; boa relação folha:colmo, sendo os colmos finos; ciclo rápido de rebrota após corte e o hábito de crescimento que seja satisfatório tanto para otimizar a colheita quanto para o uso de ferramentas na hora do corte.

As características das plantas ideais para fenação influenciam na escolha das cultivares pelo fato de que a qualidade do produto depende do valor nutritivo e de fatores como relação folha:colmo, vasta produção de forragem e uma boa capacidade de rebrota (Evangelista; Lima 2013).

A anatomia da planta está diretamente relacionada a velocidade em que ela perde água, pois vendo do ponto de vista da densidade dos estômatos, as folhas têm maior densidade que os colmos, sendo elas responsáveis por cerca de 80 a 90% da perda de água total da planta (Bayão et al., 2016). De acordo com Köpp (2013) a agilidade que a planta tem em perder água está relacionada a cerosidade das folhas, número e abertura dos estômatos e que é importante que o material tenha 25% de características produtivas e 25% de qualidade bromatológica.

2.5 Mecanismos fisiológicos durante a desidratação do feno

As etapas do processo de desidratação consistem em 3 fases. Na primeira fase ou estomática, onde a perda de água é mais rápida, a planta pode chegar a perder 1g de água/g MS/h pelo fato da planta estar com os estômatos abertos até 3 horas após o corte chegando a perder até 30% do total de água nessa etapa (Cândido, 2008). Após o corte a planta continua realizando respiração celular e consumindo açúcares

solúveis e carboidratos não estruturais para gerar energia térmica, CO₂ e água, fazendo com que essas perdas afetem a biomassa da planta (Uijtewaal et al., 2016).

Na segunda fase a planta tem uma maior resistência a perda de água, por conta da perda progressiva na primeira fase e pelo sombreamento da leira, então com os estômatos fechados ela passa a perder água por evaporação cuticular (Reis; Moreira, 1998; Evangelista; Lima, 2013). Esse processo é muito mais lento e demorado pois depende da permeabilidade da membrana externa, em regiões secas as plantas destinadas a fenação têm uma dificuldade maior para desidratação, pois a cutícula pode ter depósitos de cera reduzindo a taxa de desidratação, além disso as folhas desidratam mais rápido que os colmos por conta da espessura densa dos caules e menor quantidade de estômatos que nas folhas (Leão et al., 2017; Uijtewaal et al., 2016). Quando há maior resistência da perda de água as enzimas vegetais começam a degradar proteínas complexas e transformá-la em compostos nitrogenados solúveis o que faz com o que o valor proteico real do feno seja reduzido e aumente o nitrogênio não proteico, esse processo é conhecido como proteólise (Uijtewaal et al., 2016; Baumonte et al., 2009)

Na fase final, quando a planta atinge de 45% a 50% de umidade (Cândido, 2008) ocorre a plasmólise que é quando a planta perde a permeabilidade seletiva, morte da membrana celular, com essa perda o risco de lixiviação aumenta, então se ocorre uma chuva nesta fase a planta facilmente perde os seus componentes celulares, fazendo com que tenha uma perda drástica de qualidade nutricional desse material (Tokarchuk et al., 2025; Jobim et al., 2010), nessa etapa é quando a planta atinge de 12 a 18% de umidade, chegando ao ponto de feno e permitindo o armazenamento seguro, quando a planta chega a esse ponto de umidade as enzimas vegetais se tornam inativas e também ocorre a inibição da atividade microbiana (Leão et al., 2017; Evangelista; Lima, 2013; Baumonte et al., 2009).

2.6 Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são classificados de acordo com a sua origem, complexidade e aplicação. Existem modelos que são utilizados em sistemas de secagem e fenômenos físicos, alguns dos principais são os modelos teóricos que são baseados nas leis da física globais, modelos semiteóricos ou semi-empíricos que são decorrente de simplificações de leis teóricas que buscam simplificar a fundamentação científica e a facilidade de uso e os modelos empíricos que são modelos que se

baseiam em dados experimentais e utilizam parâmetros que geralmente não tem significado físico (Buzrul, 2022; Ertekin; Firat, 2017; Panchariya et al., 2002).

Os modelos complexos são os que geralmente consideram três ou mais parâmetros ajustáveis ou que incluem uma abordagem multifacetada e detalhada para justificar um acontecimento. E há também os modelos empíricos e semiteóricos que são modelos comumente utilizados na engenharia de alimentos por conta da sua facilidade de aplicação, principalmente em secagem de camadas finas (Martinazzo et al., 2007). Os modelos empíricos são baseados em dados experimentais e análises dimensionais correlacionando a umidade e o tempo de secagem, porém não ponderam os fundamentos do procedimento e seus critérios não possuem significado físico (Anjos; Silva, 2015).

O modelo de Gompertz cuja equação é $MS = a * \exp(-b * \exp(-k * T))$ é utilizado para registrar padrão de crescimento restrito, caracterizando fenômenos que seguem a curva sigmóide. Historicamente esse modelo começou a ser utilizado para modelar o tamanho populacional em função da idade, mas depois passou a ser utilizado em outros sistemas biológicos (Ghosh et al., 2024).

O logístico é um modelo empírico de natureza cinética que pode descrever dois fenômenos distintos, para secagem a fórmula deste modelo é dada $MS = a / (1 + \exp(b - k * T))$, ele foi ajustado da teoria de crescimento de cristais de Avrami e inspirado em clássicos de dinâmica populacional, ele é utilizado em diversas áreas (Mazzullo, 2024).

Modelo logístico bicompartimental é um modelo muito utilizado na cinética de produção de gases *in vitro* em dietas e alimentos para ruminantes (Santos et al., 2023). Com equação $MS = PA1/(1+\exp(2-4*k1*(T-L))) + PA2/(1+\exp(2-4*k2*(T-L)))$ o termo tem dois compartimentos, representados pelos dois termos, ele é comumente como um modelo que melhor se ajusta de forma positiva a avaliação de alimentos distintos além do fato dele pertencer a categoria de modelos de curva de crescimento (Santos et al., 2023).

O modelo de Newton ou Lewis, pertence ao grupo semiteórico e é mais simples de descrever a transferência de umidade, similar à lei de Newton empregada a mudança de massa, sua fórmula é $MS = \exp(-k.t)$, por ser um modelo muito simples pode apresentar algumas limitações, podendo subestimar a parte final da desidratação ou superestimar a parte inicial da desidratação. Mesmo assim, esse modelo é muito usado em processo de secagem, mas requer cuidado com material de secagem (Ertekin; Firat, 2017).

O modelo de Page pertence ao grupo semiteórico; ele é uma variação do modelo de Newton com o acréscimo de n representando o tempo, melhorando a previsão de perda de água, representado por $MS = \exp(-k \cdot tn)$ e muito utilizado no setor agrícola (İnan-Çinkir et al., 2024).

O Page modificado é uma variação do Page (Buzrul, 2022), pode mudar parâmetros e diminuir falhas na convergência, mas normalmente não melhoram o ajuste do modelo original, uma das formas que apresenta é $MS = \exp[-(k \cdot t)n]$ (Ertekin; Firat, 2017).

Henderson e Pabis é outro modelo semiteórico, $MS = a \cdot \exp(-k \cdot t)$, é o primeiro termo de uma solução da equação de Fick (Martinazzo, 2007), quando a parte predominante do processo é a difusão líquida, esse é um modelo adequado a ser utilizado, os parâmetros avaliativos são de dados experimentais (Ertekin; Firat, 2017).

O modelo exponencial de dois termos, leva esse nome pois representa os dois primeiros termos da equação de Fick, e foi alterado para obter menos uma constante e um termo exponencial organizado, tem sua equação $MS = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ (Ertekin; Firat, 2017).

Dois termos também semiteórico, ele é uma simplificação da segunda lei de Fick, essa lei estabelece que o fluxo de massa por unidade de área é diretamente proporcional ao gradiente de concentração de água (Martinazzo, 2007), $MS = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ (Carvalho, 2022), segundo Buzrul (2022) possuem menos parâmetros que o modelo de Henderson e Pabis e o que pode gerar critérios insignificantes.

Modelo de Thompson pertence ao grupo empírico logarítmico, esse modelo sugere que a técnica de secagem ocorre dividida em pequenos processos em especial em camadas finas, sua fórmula é $t = a \cdot \ln(MS) + b \cdot [\ln(MS)]^2$: as constantes A e B variam de acordo com os parâmetros avaliados no modelo; ele é muito utilizado em curvas de secagem (De Col et al., 2023).

Midilli et al. é um modelo semiteórico composto por um termo exponencial e um termo linear descrevendo a razão de umidade em função do tempo de secagem (Ertekin; Firat, 2017). Sua equação é dada por $MS = a \cdot \exp(-k \cdot tn) + b \cdot t$, de acordo com

Kraiem et al. (2023), este modelo é muito utilizado em processos de secagem de alimentos com camadas finas.

Os modelos matemáticos são importantes em diversas áreas por conta das suas muitas aplicações e da capacidade de previsão de situações com base nos dados coletados (İnan-Çinkir et al., 2024).

No trabalho de Fikry et al. (2024) os modelos matemáticos foram usados para prever e simular comportamentos, no intuito de descrever com precisão o processo de secagem e a cinética de extração em sementes de Longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Nessa situação os modelos conseguiram descrever com precisão o processo de secagem, o modelo de Henderson e Pabis foi o que teve melhor ajuste para as sementes não tratadas, no entanto, o modelo exponencial de dois termos mostrou um desempenho superior às sementes pré-tratadas com ultrassom.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes modelos matemáticos aplicados à curva de desidratação de fenos produzidos por diferentes *Urochloa* spp. e a qualidade potencial dessas forragens para fenação.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar diferentes modelos matemáticos para determinar qual o melhor modelo a se usar para determinar a taxa de desidratação de *Urochloa*;

Quantificar a taxa de desidratação dos diferentes genótipos de *Urochloas* nas condições de solo e clima de Dourados;

Mensurar aspectos morfológicos das cultivares e relacionar com aspectos desejáveis para a fenação;

Avaliar a composição nutricional de diferentes genótipos de *Urochloa* spp. para produção de feno na região de Dourados-MS.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adindu, M.P.; Williams, J.O. Effect of storage on dehydrated African breadfruit seeds (*Treculia africana* Decne). **Plant Foods for Human Nutrition**, [S. l.], v. 58, p. 1-8, 2003. Acesso em: 4 abr. 2025.

Alencar, C.A.B. de; Martins, C.E.; Coser, A.C. Irrigação: recomendações para uso e manejo. In: FERREIRA, R. de P. et al. (ed.). **Cultivo e manejo de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. cap. 19, p. 425-442.

Anjos, J.F.; Silva, A.R. Cinética de secagem e modelagem matemática do fruto de buriti (*Mauritia flexuosa*). **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, [S. l.], v. 2, p. 45–52, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br>. Acesso em: 13 set. 2025.

Araújo, G.P. **Acúmulo e valor nutritivo da forragem e atividade microbiológica do solo em pastagens consorciadas de sorgo-sudanense e capim-ruziziensis sob fertilização nitrogenada e potássica em segunda safra no bioma Amazônia**. 2022. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) — Universidade Federal de Mato Grosso, 2022.

Assis, G.M.L. **Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais: Importância e Complexidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2009. 209 p.

BAUMONT, R.; AUFRÈRE, J.; MESCHY, F. La valeur alimentaire des fourrages: rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. **Fourrages**, [s. l.], n. 198, p. 151-174, 2009.

Bayão, G.F.V. et al. Desidratação e composição química do feno de Leucena (*Leucena leucocephala*) e Gliricídia (*Gliricidia sepium*). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 17, n. 3, p. 365-373, jul./set. 2016.

Borges, G.S.; Silva, N.A.M.; Santos, M.E.R. Structural and productive differences between deferred braúna, cayana and sabiá grasses. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 75, n. 6, p. 1155-1164, 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Detalhe da Proteção de Cultivar**. Brasília, DF: SNPC, 2025. Disponível em: <https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc>. Acesso em: 28 ago. 2025.

Buzrul, S. Reassessment of Thin-Layer Drying Models for Foods: A Critical Short Communication. **Processes**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 118, 2022.

Camargo, F.C. et al. Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 52, n. 5, e20201074, 2022.

Carvalho, M.S. et al. Kinetics and Mathematical Modeling of the Drying Process of Macaúba Almonds. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 1, p. 199-205, jan./mar. 2022.

Cattelan, L.G. et al. Mapping Climatic Regions of the Cerrado: General Patterns and Future Change. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 00, p. 1-16, 2024.

De Col, L.; Orso, K.D.F.; Zamboni, L. Mathematical modeling of grain drying - Thompson's theoretical model for durum wheat. **Revista e-TECH: Tecnologias para a Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2023. DOI: 10.18624/etech.v16i2.1272. Disponível em: <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/view/1272>. Acesso em: 12 jan. 2025.

Detmann, E. Produziu o pasto para a seca: como aproveitá-lo melhor usando a suplementação? In: SANTOS, M. E. R.; Martuscello, J.A.; Silva, S.C. da (org.). **Todo ano tem seca! Está preparado?**: estratégias para produção e uso do pasto na época seca. São Paulo: Reino Editorial, 2022. cap. 13, p. 389–419.

Dos Santos, A. et al. Environmental Seasonality Affects the Growth, Yield, and Economic Viability of Irrigated Forage Species in Dry Regions. **Irrigation and Drainage**, [S. l.], p. 1-12, 19 Jan. 2025.

Echeverria, J.R. et al. Acúmulo de forragem e valor nutritivo do híbrido de Urochloa 'BRS RB331 Ipyporã' sob pastejo intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01655, 2020.

Ertekin, C.; Firat, M.Z. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 57, n. 4, p. 701-717, 2017.

Euclides, V.P.B. et al. Beef cattle performance in response to Ipyporã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S. l.], v. 47, e20180018, 2018.

Evangelista, A.R.; Lima, J.A. Produção de feno. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 277, p. 43-52, 2013.

Fikry, M. et al. Kinetic modeling of moisture transfer and phytochemical properties in Longan seeds: impact of ultrasonic pretreatment and microwave drying process. **Food and Bioprocess Technology**, [S. l.], v. 18, n. 12, p. 5134-5151, maio 2024.

Ghosh, S.; Seshadri, S.; Jayaraman, Gayathri; VIJAYA, Padmapriya; RAJENDRAN, Sujatha; RAGHAVAN, Vikram. Accurate birth weight prediction from fetal biometry using the Gompertz model. *PLoS ONE*, [S.l.], v. 19, n. 7, e0306786, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306786>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11490867/>. Acesso em: 13 set. 2025.

İnan-Çinkir, N.; Süfer, Ö.; Pandiselvam, R. Kinetic and artificial neural network modeling of dried black beauty eggplant (*Solanum melongena* L.) slices during rehydration. **Journal of Food Processing Engineering**, [S. l.], v. 47, n. 3, e14567, 2024.

Jardim, C.C.S. et al. Statistical downscaling in the TRMM satellite rainfall estimates for the Goiás state and the Federal District, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, p. 225-234, 2023.

Jobim, C.C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 101-119, 2007. Suplemento especial.

Kidane, H.; Farkas, I.; Buzás, J. Mathematical modelling of golden apple drying and performance evaluation of solar drying systems using energy and exergy approach. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 15, n. 7805, 2025.

Köpp, M.M. Construindo um ideótipo de gramínea para produção de feno. In: SOUZA, F. H. D. de (ed.). **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. cap. 14, p. 249-257.

Kraiem, K.; Abdelmoumen, S.; Ben-Ali, S. Dehydration study of apple slices by a non-thermal process. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 30, n. 28, p. 40620-40628, 2023.

Leão, E.S. et al. Analysis of the potentiality haying of native forage species in semiarid region. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 5, p. 3319-3330, 2017.

Lemus-Mondaca, R. et al. Mass transfer kinetic and quality changes during high-pressure impregnation (HPI) of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) slices. **Food and Bioprocess Technology**, [S. l.], v. 11, p. 2174-2186, 2018.

Martha Júnior, G.B.; Vilela, L.; Sousa, D.M.G. (ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 224 p.

Martinazzo, F.C. et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 205–210, 2007.

Mazzullo, S. **A Mathematical Logistic Model Describes Both Global CO₂ Emissions and its Accumulation in the Atmosphere**. [S. l.]: [s. n.], 2024.

Menezes, G.L. et al. *Urochloa ruziziensis* (Syn. *Brachiaria ruziziensis*). In: JAYME, D. G.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, A. L. C. C. (ed.). **Produção e utilização de forragens conservadas**. Belo Horizonte: Editora FEPMVZ, 2024. cap. 17, p. 556-590.

Muglia, G.R.P. **Influência da adubação nitrogenada nos parâmetros luminosos, morfogênicos e produtivos em diferentes materiais genéticos de Urochloa**. 2024. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

Muniz, E.B. et al. Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 1191–1200, jul./set. 2011.

Nogueira, L. **Brachiaria ruziziensis**: Como essa espécie pode te ajudar na agricultura. [S. l.]: Agro, 2024. Disponível em: <https://blog.agro.com.br>. Acesso em: 23 jul. 2024.

Paciullo, D.S.C. et al. **Alternativas para a produção de forragem na entressafra e a formação de palhada para o plantio direto**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2008. (Comunicado Técnico, 106).

Panchariya, P.C.; Popovic, D.; Sharma, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

Pedrosa, C.E. et al. Yield and quality of wilted sweet potato vines and its silages. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 283-289, jul./set. 2015.

Pinheiro, J.G. **Brachiaria híbrida (syn. Urochloa híbrida) sob distintas estratégias de corte**. 2017. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

Reis, R.A.; Rodrigues, L.R.A. Avaliação da qualidade dos fenos de gramíneas tropicais armazenados com diferentes níveis de umidade e tratados com amônia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 21, n. 5, p. 866-873, 1998.

Reis, R.A.; Barbero, R.P.; Hoffmann, A. Impactos da qualidade da forragem em sistemas de produção de bovinos de corte. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 37, n. 292, p. 36-53, 2016.

Reis, R. A.; Moreira, A. L. **Conservação de forragem como estratégia para otimizar o manejo das pastagens**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1998. 27 p.

Resende, T.T. et al. Sixteen Years of Recurrent Selection of Ruzi Grass for Resistance to Spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae). **Agronomy**, [S. l.], v. 14, n. 1516, 2024.

Sáenz Fety. **Brachiaria híbrido Convert 330 (Sabiá)**: ficha técnica clima cálido. Bogotá, Colômbia: Sáenz Fety, 2022. 2 p. Disponível em: <https://www.saenzfety.com>. Acesso em: 10 fev. 2026.

Santos, A.L.P. dos. et al. Novo modelo bicompartimental: uma aplicação para a produção de gases pela técnica in vitro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 44, n. 5, p. 1733-1744, set./out. 2023.

Santos, B.R.C. dos. et al. Estratégias para mitigar os efeitos da sazonalidade forrageira: silagens, rações totalmente misturadas e coprodutos agroindustriais. *In*: **Nutrição Animal: novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade**. [S. l.]: [s. n.], 2025. p. 187-202.

Santos, H.G. dos. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.

Sawhney, R.L.; Pangavhane, D.R.; Sarsavadia, P.N. Drying studies of single layer Thompson seedless grapes. *In*: INTERNATIONAL SOLAR FOOD PROCESSING CONFERENCE, 2009, Indore. **Proceedings...** Indore: Devi Ahilya University, 2009.

Silva, D.J.; Queiroz, A.C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235 p.

Sniffen, C.J. et al. Um sistema líquido de carboidratos e proteínas para avaliação de dietas de bovinos: II. Disponibilidade de carboidratos e proteínas. **Journal of Animal Science**, Madison, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, nov. 1992.

Sobrinho, F.D.S. et al. Produtividade e qualidade da forragem de Brachiaria na Região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 7-20, 2011.

Teixeira, A.J. et al. Commercial and non-commercial pectinase and cellulase on the enzymatic hydrolysis efficacy of rice husk and Tifton 85 hay. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 41, e45100, 2019.

Tokarchuk, O. et al. Comparison of technological operations in processing alfalufur hay in terms of their impact on forage quality and quantity. **Chemical Engineering: Food Production Technology**, [S. l.], v. 1, n. 4, e326047, 2025.

Uijtewaal, A. et al. Quoi de neuf en matière de récolte et conservation des légumineuses fourragères ? **Fourrages**, [S. l.], n. 230, p. 159-166, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **SAEG - Sistema de análise estatística e genética**. Versão 8.0. Viçosa, MG: UFV, 2000.

Valle, C.B. do. et al. **BRS Ipyporã (“belo começo” em guarani)**: híbrido de Brachiaria da Embrapa. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2017. (Comunicado Técnico, 137).

Wang, L.; Chang, C. Interplays of Cuticle Biosynthesis and Stomatal Development: From Epidermal Adaptation to Crop Improvement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 72, n. 47, p. 25449-25461, 2024.

Wang, L.; Chang, C. Stomatal improvement for crop stress resistance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 75, n. 7, p. 1823-1833, 2024.

Os capítulos a seguir serão apresentados nas normas da Revista Grass and Forage Science, exceto o idioma que foi mantido na língua portuguesa.

CAPÍTULO 2 - MODELOS NÃO LINEARES PARA PREDIÇÃO DA TAXA DE DESIDRATAÇÃO DE *Urochloas* spp.

RESUMO – O Objetivo deste estudo foi caracterizar a cinética de secagem de híbridos de *Urochloas* spp., e avaliar a acurácia de modelos não lineares na predição da taxa de desidratação. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×4 , avaliando duas formas de processamento (forragem não triturada – FNT e triturada – FT) e quatro cultivares de *Urochloas* (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã e BARG156 780J). O material foi obtido de área previamente estabelecida, com corte aos 28 dias de rebrota e altura média de 40 cm. A desidratação foi avaliada por meio de metodologia de secagem em sacos de ráfia adaptada, com pesagens ao longo de 80 horas após o corte para determinação da perda de água, também foi feita as coletas para análises bromatológicas nos tempos 0, 8, 32, 56 e 80h após o corte. A modelagem dos dados foi realizada no ambiente R, utilizando onze modelos não lineares ajustados pelo método de Gauss-Newton, com inicialização paramétrica baseada em estatísticas descritivas. A avaliação dos modelos considerou o erro quadrático médio (EQM), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e o critério de informação de Akaike (AIC), adotando nível de significância de 5% para os parâmetros. A ponderação dos modelos foi feita através de aspectos estatísticos e biológicos relacionados à coerência dos dados, obtendo os modelos Gompertz com R^2 0,88 e AIC 3419,40, Logístico R^2 0,87 e AIC 3441,78 e logístico bicompartimental R^2 0,86 e AIC 3469,81, como os que mais se adequaram a taxa de desidratação das cultivares, independente do processamento utilizado. Sendo assim o modelo de Gompertz e logístico foram adotados como bons modelos para estimar a taxa de desidratação geral dessas cultivares, atendendo aos critérios estatísticos e biológicos e o modelo Logístico bicompartimental como sendo o melhor para estimar a taxa de desidratação nas diferentes fases da secagem desses materiais, pois a sua estrutura multifásica permitiu a representação fidedigna da perda de água nas diferentes fases da desidratação na planta, refletindo o comportamento fisiológico dessas gramíneas tropicais, assim este modelo se torna uma ferramenta eficiente para representar este sistema complexo que é o processo de secagem de material vegetal.

Palavras-chave: Ajuste de modelos, análise de resíduos, cinética bicompartimental

CHAPTER 2- NONLINEAR MODELS TO PREDICT DEHYDRATION RATE OF *Urochloa* spp.

ABSTRACT - The objective of this study was to characterize the drying kinetics of *Urochloa* spp., hybrids and to evaluate the accuracy of nonlinear models in predicting the dehydration rate. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 2×4 factorial scheme, evaluating two processing methods (non-ground forage – NGF and ground forage – GF) and four *Urochloa* cultivars (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã, and BARG156 780J). The material was obtained from a previously established area, harvested at 28 days of regrowth with an average canopy height of 40 cm. Dehydration was evaluated using an adapted drying methodology with raffia bags, with weighings carried out over 80 hours after cutting to determine water loss. Samples were also collected for bromatological analyses at 0, 8, 32, 56, and 80 hours after cutting. Data modeling was performed in the R environment using eleven nonlinear models fitted by the Gauss-Newton method, with parameter initialization based on descriptive statistics. Model evaluation considered the mean squared error (MSE), adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}), and Akaike Information Criterion (AIC), adopting a 5% significance level for the parameters. Model selection was based on both statistical and biological criteria related to data consistency. The Gompertz ($R^2 = 0.88$; AIC = 3419.40), Logistic ($R^2 = 0.87$; AIC = 3441.78), and Bicompartimental Logistic ($R^2 = 0.86$; AIC = 3469.81) models showed the best fit to the dehydration rate of the cultivars, regardless of the processing method used. Thus, the Gompertz and Logistic models were considered suitable for estimating the overall dehydration rate of these cultivars, meeting both statistical and biological criteria. The Bicompartimental Logistic model was identified as the most appropriate for estimating dehydration rates across different drying phases, as its multiphasic structure allowed an accurate representation of water loss throughout the drying process, reflecting the physiological behavior of these tropical grasses. Therefore, this model represents an efficient tool for describing the complex system of plant material drying.

Keywords: Model fitting, residual analysis, bicompartimental kinetics

1. INTRODUÇÃO

O maior desafio da produção de forragem consiste na sazonalidade, a qual é decorrente da estiagem, tipicamente ocorrendo, no Centro-Oeste do Brasil, entre maio e setembro. Esse período é caracterizado pelo “vazio forrageiro”, pela redução na quantidade e no valor nutritivo das plantas, o que limita a capacidade de suporte e o consumo animal^[1; 2; 3].

Neste cenário, o planejamento forrageiro é uma prática mandatória para tentar contornar a sazonalidade. Para isto, a produção de feno torna-se uma estratégia crucial. Fazer feno envolve secar a forragem para preservação, garantindo alimento de alta qualidade durante a estação seca^[4]. As plantas recomendadas para a produção de feno incluem espécies com alto valor nutricional, alta produção de forragem por unidade de área, elevada proporção folha: colmo com maior número de folhas e menos colmos finos, e taxa rápida de crescimento e recuperação.

Os principais fatores que afetam a taxa de desidratação das plantas estão diretamente ligados a fatores climáticos e ambientais, e mesmo que as plantas tenham características desejáveis para fenação, elas são influenciadas por esses fatores, como radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, umidade do solo e déficit de pressão de vapor^[4,5]. A rápida e adequada secagem é crucial para reduzir perdas pós-colheita devido à respiração e deterioração microbiana^[6]. O que pode ser acelerado através da trituração das forragens, antes da exposição destas aos fatores ambientais, para desidratação.

A modelagem matemática surge como uma ferramenta muito importante, visto que, quando bem ajustada, ela consegue prever e otimizar eventos que facilitam em diversos procedimentos e áreas, garantindo qualidade do produto e eficiência operacional^[7]. A principal motivação para a utilização de modelos matemáticos na curva de desidratação é que essa ferramenta já é muito utilizada no processo de secagem de diversos produtos agrícolas^[8]. Os modelos são aplicados para estimar tempo de secagem de produtos expostos a diversas condições^[9], então ao interpretar atributos físicos em valores numéricos e equações, os modelos que conseguirem atender a dinâmica de ajuste permitem que esses modelos examinem e tenham uma boa previsão da dinâmica do sistema^[10].

A modelagem da perda de água é profundamente complexa, pois esse processo compreende a transferência de calor e massa ao mesmo tempo dentro do material e entre a superfície do material e o ambiente ao redor^[8]. Mesmo um processo complexo, alguns modelos mais simples não consideram a redução de volume, sendo este um dos fatores que pode intervir nos resultados considerados^[11]. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar quais modelos não lineares são capazes de estimar a taxa de desidratação de diferentes *Urochloa spp.* trituradas ou não, antes de expostas ao processo de desidratação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O período de produção do feno foi de 30 de abril a 03 de maio do ano de 2025, com médias de temperatura de 33°C e 45% de umidade, respectivamente, no período do estudo, conforme tabela abaixo.

Tabela 1. Dados climatológicos relevantes no período do experimento obtidos da estação meteorológica da Embrapa Centro Oeste de Dourados.

Data	T (°C)	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	URM (%)	URm (%)	U2 (m/s)	U2M (m/s)	Chuva (mm)	Rs (MJ/m²/dia)	ET0 (mm/dia)
30/04/25	18,6	27,1	10,5	73	100	39	0,73	3,73	0	20	3,2
01/05/25	20,2	27,4	14,8	80	100	50	0,75	4,15	0	19,4	3,3
02/05/25	21	29,2	13,8	76	100	46	0,76	4,01	0,1	19,2	3,3
03/05/25	22	29,2	16,4	87	100	59	0,72	3,36	0	13,8	2,7
04/05/25	23,3	29,6	18,1	81	100	56	0,78	4,89	0	15	2,9

ET0: evapotranspiração, Rs: radiação solar global diária, Mj: Megajoule, m²: metro quadrado, URm: Umidade relativa mínima, URM: Umidade relativa máxima, UR: Umidade relativa do ar, Tm: Temperatura mínima, TM: Temperatura máxima, T: Temperatura, C°: Celsius, U2: velocidade média do vento a 2 metros do solo, U2M: velocidade máxima do vento a 2 metros do solo.

Fonte: Embrapa Centro Oeste

A área experimental fica localizada no Campo Agrostológico – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FCA-UFGD), sob as coordenadas geográficas 22°11'45,5"S 54°56'15,3", O clima conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico úmido com verão chuvoso, O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico [12] na cidade de Dourados - Mato Grosso do Sul.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0 a 0,3m de profundidade

pH	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	T	P ⁻	rem	V	M
Ca								mg.dm			
Cl ₂	 cmol _c .dm ⁻³							-3	 %		
5,2			9,	4,2		14,1	19,7	8,			
0	0,00	5,55	41	1	0,54	6	1	48	8,16	71,84	0,00
Are	Silt			C	MO	Fe	Zn	Cu	Mn	S	B
ia	e	Argila									
..... %			 g.dm ⁻³		 mg.dm ⁻³						
17,	18,		15,5		39,6					3,8	
5	7	63,7	0	26,66	0	4,60	15,40	43,20	5	0,26	

Cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (Al); hidrogênio mais alumínio (H+Al); potássio (K); fósforo (P) (Mehlich I); cloreto de cálcio (CaCl₂). Enxofre (S); zinco (Zn); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn).

Fonte: Solanálise - Central de Análises LTDA, Cascavel - PR.

O delineamento do experimento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, duas formas de processamento (forragens apenas cortadas e não trituradas - FNT e forragens trituradas em triturador do tipo estacionário, de modo a proporcionar partículas de tamanho 19 mm - FT) e quatro materiais genéticos de *Urochloa* (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã e BARG156 780J). As cultivares foram plantadas no ano de 2019 em canteiros com dimensão de 2,5 x 4 m, com 8 repetições por cultivar, totalizando 32 canteiros. Desde a implementação da área foram feitos manejos de plantas invasoras, através de controle químico e controle mecânico, para que não houvesse competição por espaço e nutrientes.

O material para fenação foi obtido a partir do rebrote das forragens de área já estabelecida e com manejo de adubação de manutenção conforme^[13] após o período de rebrota de aproximadamente 28 dias, ao atingirem altura média de dossel de 40 cm. O corte foi realizado para a altura residual de 15 cm.

2.2 Produção de feno

O feno foi produzido utilizando a metodologia de secagem em sacos de ráfia, adaptada de Adindu e Williams^[14], para otimizar o processo de pesagem do material a campo e diminuir as perdas pelo vento, esses sacos tinham tamanho de 35 x 62 cm e capacidade de 10 kg com cores diferentes, sendo verde para os tratamentos das forragens não trituradas e amarelo para forragens trituradas, além dessa diferenciação as cultivares foram separadas por fitas de diferentes cores (verdes para ruziziensis, azul para sabiá, laranja para Ipyporã e branca para 780J). Foram pesados três sacos contendo 1 kg de material por tratamento e foram aferidos os pesos nos tempos: 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 24; 28; 32; 48; 52; 56; 72; 76 e 80 horas após o corte, para determinação da perda de água. O corte das plantas nos canteiros iniciou-se às 7h. O corte foi realizado com auxílio de uma roçadeira tipo costal a gasolina, equipada com lâmina do tipo segadeira, para evitar a dilaceração das plantas. Parte do material foi separado e as forragens trituradas em triturador do tipo estacionário, de modo a proporcionar partículas de tamanho 19 mm.

Os sacos eram cobertos com lona no período da noite para diminuir o contato com o orvalho e, pela manhã, a lona era retirada de cima dos sacos de ráfia. Após uma hora era retomado o processo de pesagem e revolvimento para o material secar de forma uniforme.

Paralelamente aos sacos utilizados para determinação da perda de água a campo, outros quatro sacos de ráfia, contendo 1 kg de material cada, foram utilizados

para coletas de material e análises químico-bromatológicas da forragem nos tempos 0, 8, 32, 56 e 80 horas após o corte.

2.3 Análise estatística e modelos matemáticos

Diferentes modelos não lineares foram verificados para estimar a taxa de desidratação das *Urochloas* spp., conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 3. Modelos não lineares avaliados

Modelo	Equação	Fontes
Dois termos	$MS = a.exp(-k_0.t) + b.exp(-k_1.t)$	[15]
Exponencial de dois termos	$MS = a.exp(-k.t) + (1-a)exp(-k.a.t)$	[16]
Gompertz	$MS = a * exp(-b * exp(-k * t))$	[17]
Henderson e Pabis	$MS = a.exp(-k.t)$	[18]
Logístico	$MS = a / (1 + exp(b - k * t))$	[19]
Logístico bicompartimental	$MS = PA1/(1+exp(2-4*k*(t-L))) + PA2/(1+exp(2-4*k*(t-L)))$	[20]
Midilli <i>et al.</i>	$MS = a.exp(-k.t) + b.t$	[21]
Newton ou Lewis	$MS = exp(-k.t)$	[22]
Page	$MS = exp(-k.t)$	[23]
Page modificado	$MS = exp[-(k.t)]$	[8]
Thompson	$MS = a.ln(t) + b.[ln(t)]$	[24]

MS: teor de matéria seca (%); t: tempo após corte em horas; a: reflete uma estimativa do teor de MS nas últimas horas; a, b e n; são constantes de integração, não possuem interpretação biológica e é estabelecido pelos valores iniciais da característica e o tempo; k: é interpretado como taxa de desidratação (teor de MS h) e indica a velocidade de perda de água na forragem após o corte, portanto, quanto maior esse valor, mais suscetível à desidratação após o corte é a cultivar; PA1 e PA2: quantidade de água acumulada perdida ao final das fases rápida e lenta, respectivamente, da curva de desidratação; Ke K: são interpretados como taxa de desidratação (teor de MS h) e indica a velocidade

de perda de água na forragem após o corte nas fases rápida e lenta, respectivamente, da curva de desidratação.

O ajuste de modelos não lineares foi implementado utilizando o ambiente R versão 4.3.0. A estimação dos parâmetros foi realizada através da função `nls()` do pacote `stats`^[26], que emprega o algoritmo Gauss-Newton modificado com derivadas numéricas. Para modelos com restrições nos parâmetros (Dois Termos e Logístico Bicompartimental), utilizou-se a variante `algorithm = "port"`, que permite especificar limites inferiores via argumento `lower`.

A inicialização dos parâmetros foi automatizada através de heurísticas baseadas nas estatísticas descritivas dos dados. Para cada conjunto experimental, calculou-se $y_{\max} = \max(y)$, $y_{\min} = \min(y)$, $t_{\max} = \max(t)$ e $t_{\text{mean}} = \text{mean}(t)$. Estes valores foram utilizados para definir valores iniciais proporcionais, garantindo maior probabilidade de convergência. O controle numérico foi configurado com `nls.control(maxiter = 500, warnOnly = TRUE, minFactor = 1e, tol = 1e)`.

Para o modelo de Thompson, implementou-se uma abordagem híbrida, utilizando inicialmente regressão linear (`lm()` do pacote `stats`) para obter estimativas iniciais, seguidas pelo ajuste não linear padrão.

A significância dos parâmetros dos modelos foi avaliada pelo teste t, adotando o nível de 5% de probabilidade. A avaliação do modelo que melhor se ajusta aos dados foi realizada através do erro quadrático médio de predição (EQM), coeficientes de determinação ajustado (R_{ajust}) e pelo critério de Akaike.

O EQM foi determinado pela equação:

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Onde:

- n é o número de amostras.
- y é o valor real da amostra i .
- $\hat{y}$ é o valor previsto pelo modelo para a amostra i .

O critério de informação de Akaike (AIC) permite utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, de acordo com este critério nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor^[25]. Menores valores de AIC refletem um melhor ajuste^[26]. Sua expressão é dada por: $AIC = 2\ln(L) + 2p$ – em que: p é o

número de parâmetros e $\ln L$ o valor do logaritmo da função de verossimilhança (L) considerando as estimativas dos parâmetros.

A extração das estatísticas de ajuste foi realizada utilizando funções especializadas: `tidy()` do pacote `broom`^[27] para os coeficientes, `confint()` para intervalos de confiança 95%, e `AIC()` para critérios de informação. O R^2 ajustado foi calculado como $1 - (RSS/(n-p))/(TSS/(n-1))$, onde n é o número de observações e p o número de parâmetros.

3. RESULTADOS

Dos onze modelos testados, os modelos exponenciais de dois termos, Henderson e Pabis, Newton e Thompson foram descartados com base no teste de Shapiro-Wilk, pelo fato dos resíduos não assumirem o pressuposto estatístico de normalidade (Tabela 2). Além de ter de considerar também os valores de AIC, R^2 ajustado e RMSE que corroboram a falta de normalidade nos valores do teste.

Tabela 4. Avaliação dos modelos não lineares na estimativa da curva de desidratação de fenos de *Urochloa spp.*, segundo teste de normalidade de Shapiro Wilk

Modelo	AIC	R ajustado	RMSE	Shapiro P-valor
Dois Termos	3269,07	0,93	62,97	0,1464
Exponencial de dois termos	3992,23	0,16	217,79	0,0000
Gompertz	3419,40	0,88	81,66	0,3276
Henderson Pabis	3662,06	0,73	123,97	0,0063
Logístico	3441,78	0,87	84,84	0,3581
Midilli	3334,41	0,91	70,39	0,6309
Newton	4391,80	-2,31	432,15	0,0000
Page	3364,30	0,90	74,59	0,3132
Page Modificado	4542,97	-4,52	557,42	0,0000
Thompson	3101,14	0,93	64,58	0,0147
Logístico bicompartimental	3469,81	0,86	88,39	0,7102

AIC = critério de akaike; RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio; Shapiro P-valor = valor de probabilidade do teste de análise de resíduos de Shapiro Wilk

Dos modelos restantes foram analisados com base na interpretação biológica dos parâmetros e os modelos dois termos, Midilli e Page, foram os modelos que não tiveram parâmetros com interpretação biológica válida, pois os parâmetros que representam a taxa de perda de água (K_1 e K_2 para dois termos e K para demais modelos) apresentaram valores negativos (Tabela 3) o que reforça a baixa capacidade de refletir a cinética de desidratação do material.

Tabela 5. Valores médios e significância dos parâmetros dos modelos que melhor tiveram qualidade de ajuste por cultivar e forma de processamento do capim a campo

Modelo	Parâmetros									RSE
	a	b	k	n	PA1	PA2	K1	K2	L	
Logístico bicompartimental	-	-	-	-	437,79 ***	1570,26 **	0,032 ***	0,003 ***	1,00 **	39,99
Dois Termos	-539,31 ***	499,42 ***	-	-	-	-	0,207 ***	-0,006 ***	-	47,91
Midilli	6,27 ns	-16,86 ns	-3,38 ***	0,12 ***	-	-	-	-	-	46,47
Gompertz	779,57 ***	1,38 ***	0,061 ***	-	-	-	-	-	-	70,93
Logístico	775,96 ***	0,93 ***	0,076	-	-	-	-	-	-	74,81
Page	-	-	-5,221	0,06	-	-	-	-	-	62,27

MS: teor de matéria seca (%); T: tempo após corte em horas; a: reflete uma estimativa do teor de MS nas últimas horas; a, b e n; são constantes de integração, não possuem interpretação biológica e é estabelecido pelos valores iniciais da característica e o tempo; k: é interpretado como taxa de desidratação (teor de MS h⁻¹) e indica a velocidade de perda de água na forragem após o corte, portanto, quanto maior esse valor, mais suscetível à desidratação após o corte é a cultivar; PA1 e PA2 : teor de matéria seca ao final das fases rápida e lenta, respectivamente, da curva de desidratação; K1 e K2: são interpretados como taxa de desidratação (teor de MS h⁻¹) e indica a velocidade de perda de água na forragem após o corte nas fases rápida e lenta, respectivamente, da curva de desidratação. ** p-valor <0,01; *** p-valor <0,001; ns = não significativo; RSE = Erro Padrão dos Resíduos ($\sum(\text{resíduos}^2)/(n - p$

Os modelos restantes, que não foram eliminados pelo pressuposto de normalidade dos resíduos e interpretação biológica dos parâmetros, foram ranqueados com base nos valores de AIC, RQME e R ajustado, ficando em ordem de melhor qualidade de ajuste os seguintes modelos: gompertz, logístico e logístico bicompartimental (Tabela 2). No entanto, embora os modelos gompertz (Figura 1) e logístico (Figura 2) tenham boa qualidade de ajuste, ao analisar os valores observados e preditos pelos modelos, nota-se que ambos os modelos subestimam o ajuste nos tempos iniciais em todas as cultivares testadas. O melhor ajuste foi do modelo logístico bicompartimental (Figura 3), que conseguiu acompanhar as curvas de desidratação das cultivares, tanto na fase inicial quanto ao longo da curva até o momento final do processo.

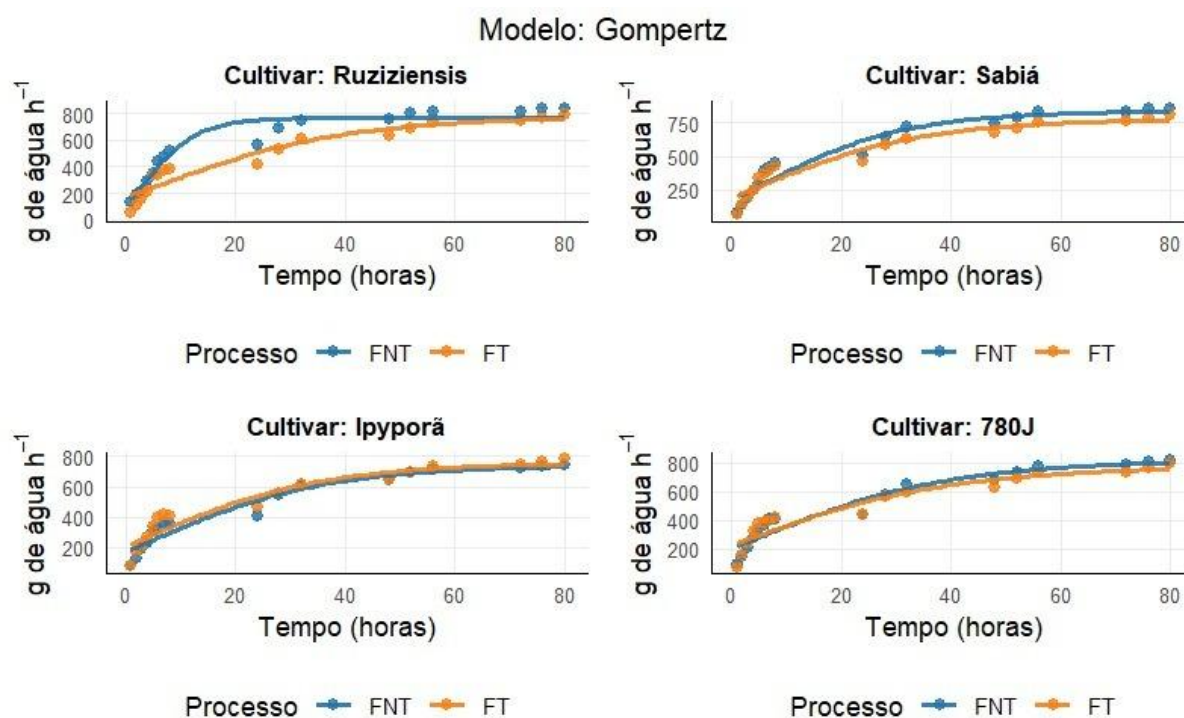


Figura 1 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo de Gompertz para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.

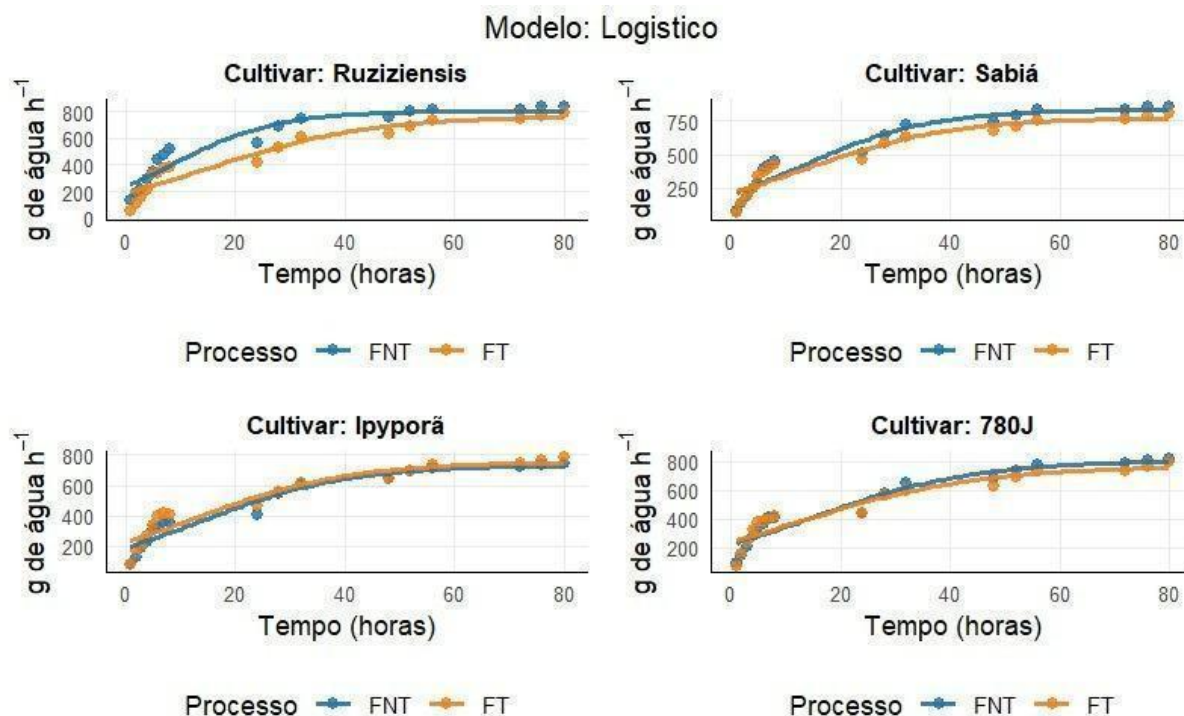


Figura 2 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo logístico para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.

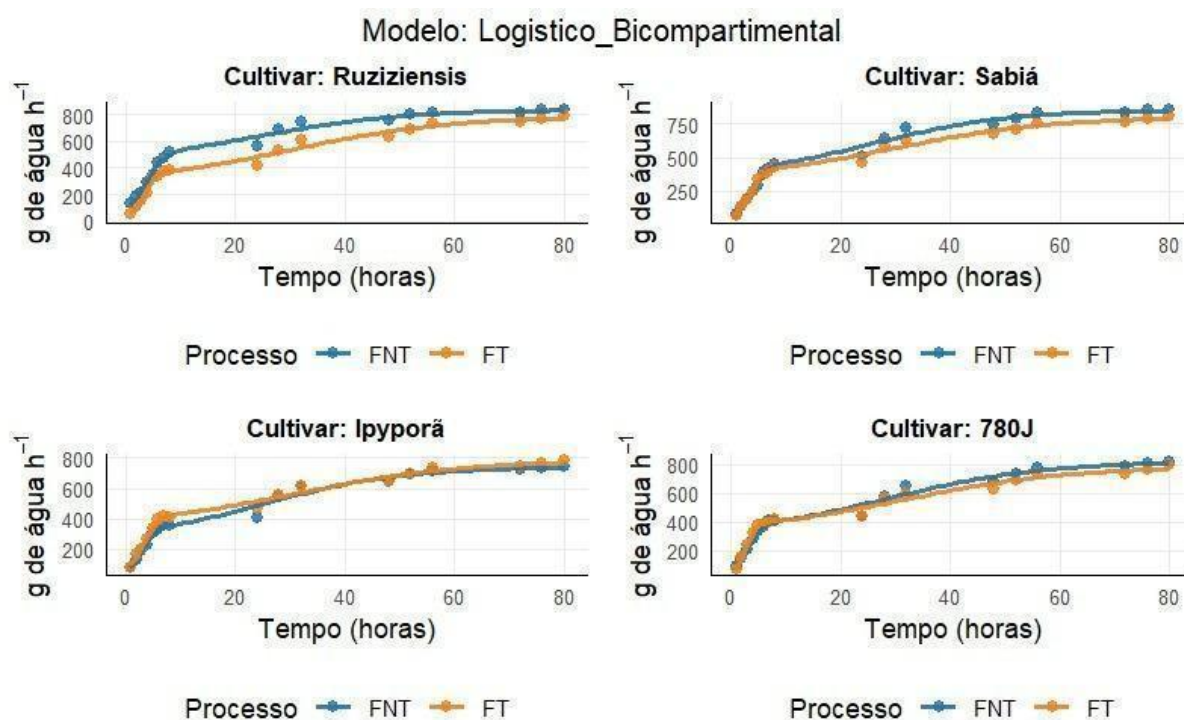


Figura 3 - Gráficos dos valores estimados versus os valores observados do modelo logístico bicompartimental para as cultivares em função da trituração (FT) ou não (FNT) do feno para os modelos que tiveram parâmetros com interpretação biológica válida.

4. DISCUSSÃO

O ajuste de modelos matemáticos é uma etapa crucial e altamente dependente do produto estudado e das condições experimentais^[28]. Como ferramentas de predição de dados e contribuição para processos, a compreensão e verificação do modelo são tão importantes quanto os dados em si. A avaliação da adequação do modelo exige uma sequência de verificações. Inicialmente, é fundamental o teste de normalidade da distribuição dos resíduos, condição ideal em que os erros do modelo são aleatórios e previsíveis, pressuposto fundamental para a validação estatística^[29]. O teste de Shapiro-Wilk foi o método empregado para esse fim.

Entre os onze modelos avaliados, cinco apresentaram p-valor inferior a 0,05 (Page modificado, Newton e Exponencial de dois termos, que apresentaram p-valor de 0,0000, além dos modelos Henderson e Pabis (0,0063) e Thompson (0,0147); Tabela 2), esses resultados indicam ausência normalidade dos dados sugerindo uma distribuição que implica em erros não aleatórios, apresentando um padrão que comprometa a confiabilidade dos modelos. Além de não atender esse pressuposto básico, os modelos também demonstraram baixo desempenho estatístico, caracterizados por valores baixos de R^2 , e valores elevados de RMSE (Tabela 2).

O coeficiente de determinação (R^2) é um fator importante, pois quanto mais alto (próximo de 1), maior o ajuste ao modelo, porém não deve ser o único balizador para determinar se o modelo é bom ou não, ele precisa estar alinhado com o erro^[30]. Assim a avaliação de qualidade é realizada através de parâmetros estatísticos que comumente determinam o melhor ajuste através de valores altos no coeficiente de determinação (R^2) e menores valores para métricas de erro^[31]. Em trabalhos como na desidratação de fatias de maçã^[32], os modelos que trabalham com cinética de secagem adotam o R^2 com valores altos, sendo que muitos estudos adotam esse valor igual ou superior a 0,90^[7]. Na maioria das pesquisas encontradas na literatura, como na secagem de folhas de capim-limão^[33], polpa de buriti^[34] e amêndoas de macaúba^[35], por exemplo, esses valores são obtidos por serem realizados em ambientes controlados, então os fatores que afetam a cinética de secagem em condições a campo não têm o mesmo peso que em ambiente controlado, isso se deve ao fato de que as amostras em ambiente controlado se portam de forma homogênea.

Os valores encontrados do R^2 na tabela 2 apresentam alguns valores negativos e muito baixos que foram previamente descartados pelo teste de normalidade, esses modelos tinham valores de R^2 que variaram de -4,52 a 0,93. Nos trabalhos realizados

utilizando modelagem matemática, além de serem realizados em ambientes controlados, os experimentos mencionam camadas delgadas dos produtos secados, como nos trabalhos de Fikry et al.^[7] que trabalharam com fatias de maçã Gala com $3 \pm 0,2$ mm, e secagem de grãos de trigo com altura máxima de 20 cm na esteira^[36], por exemplo, o que facilita no processo de secagem.

O valor da raiz do quadrado médio do erro (RMSE) tem que tender a zero porque quanto mais próximo de zero mais confiável o ajuste é, pois é uma métrica que dá a medida da acurácia que mostra os valores observados e previstos^[8]. Os modelos matemáticos que apresentaram maiores valores de RMSE, vão de encontro com os valores que não atendem o pressuposto de normalidade pelo teste de Shapiro, então os valores estão relacionados aos modelos Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis, Newton, Page modificado e Thompson.

O AIC avalia o ajuste de modo geral e quanto menores os valores, melhor para o ajuste [8], pois na escolha do modelo deve-se considerar a qualidade geral e o poder de previsão das funções distintas não lineares^[8]. Entre modelos com número de parâmetros distintos, o valor de AIC será um indicador de ajuste, mas não um determinador isolado^[30].

Conforme Martinazzo et al.^[33], a interpretação biológica dos parâmetros é tão importante quanto o bom ajuste estatístico, já que taxas de desidratação negativas (parâmetro k) contrariam a natureza do processo. Desta forma, até mesmo modelos como Dois Termos, Midilli e Page, que apresentaram R^2 satisfatórios, com valores altos, que demonstram a qualidade do ajuste do modelo aos dados experimentais, foram descartados devido à impossibilidade biológica de seus parâmetros. De acordo com Buzrul^[30] modelos muito simples, com poucos parâmetros a se ajustar, apresentariam baixa eficiência na representação de fenômenos complexos de secagem.

O número menor de parâmetro influencia nos resultados estatísticos, então esses podem apresentar ajustes insatisfatórios ou parâmetros sem interpretação biológica justamente pela limitação no fornecimento de dados. Mas esses modelos com número menor de parâmetros também podem apresentar interpretação biológica e parcimoniosa, desde que sejam modelos semi-teóricos, porque se for modelo totalmente empírico ele não valida a biologia dos dados e limita o uso dos modelos^[33].

O parâmetro k ilustra a taxa de desidratação da forragem e corresponde à variação da matéria seca em função do tempo. Esse parâmetro possui o maior significado biológico no estudo, pois está diretamente relacionado à rapidez em que o

material vegetal perde água após o corte. Quanto maiores os valores de k mais rápida a desidratação do material, gerando comparação objetiva entre cultivares. Adotar o critério fisiológico é essencial, pois a desidratação corresponde a um processo físico contínuo, então para justificar o uso de um modelo matemático nesse processo a biologia da planta tem que ser considerada e interpretada numericamente.

Outros parâmetros utilizados nos modelos são: k_1 e k_2 correspondem a duas velocidades distintas de desidratação das forragens, e em duas etapas do processo: a fase inicial (k_1), em que a secagem ocorre mais veloz pela questão fisiológica da planta no primeiro momento estar com os estômatos abertos e a segunda fase (k_2), a qual tem a secagem em menor velocidade, pois a planta fecha os estômatos e nessa fase passa a perder água pelas cutículas. Esses parâmetros são adequados do ponto de vista físico, pois correspondem à troca entre a perda de água livre, a qual ocorre de modo mais rápido, e perda de água ligada, em que ela ocorre de modo mais lento, e esse é um comportamento típico na secagem das forragens.

Na Tabela 3, as taxas de desidratação rápida (K_1) e lenta (K_2), do modelo logístico bicompartimental, mostraram-se positivas e altamente significativas, o que representa uma coerência biológica ao refletir a perda inicial de água, isto é, a água livre e a posterior remoção gradual da água estruturalmente ligada aos componentes das paredes das células, conforme trazido à discussão por Ertekin & Firat^[8]. Este mesmo comportamento foi constatado na secagem de frutos, sementes e hortaliças, ^[7] demonstrando que modelos multicamadas e multifásicos tendem a representar a desidratação de materiais vegetais.

O parâmetro L , presente no modelo logístico bicompartimental tem papel de representar a transição temporal entre fases cinéticas, ele mostra o tempo em que a planta começa a perder água de forma acelerada e não é tido como um parâmetro biológico e nem tampouco se relaciona com o processo de forma isolada. É considerado um parâmetro operacional.

Após esse refinamento, três modelos apresentaram desempenho consistente em termos estatísticos e biológicos: Gompertz, Logístico e Logístico bicompartimental. O modelo Gompertz, originalmente usado para descrever crescimentos sigmóides^[37] foi amplamente utilizado em sistemas biológicos, incluindo processos de secagem, no entanto, como enfatizado por Buzrul^[30] sua estrutura pode não captar adequadamente fases diferentes da cinética de desidratação. Na verdade, pode-se perceber na Figura 1 e 2 que, mesmo com bons estimadores de qualidade do ajuste do modelo, naturalmente subestimam os valores observados nas horas iniciais. Essa limitação

pode ser verificada para o modelo Logístico simples e Gompertz, cuja forma sigmoidal tradicional pode descrever adequadamente fenômenos com transições suaves, mas não é capaz de descrever adequadamente processos com duas fases claramente diferenciadas - uma rápida e outra lenta - típicas de gramíneas tropicais^[38].

O modelo Logístico bicompartimental (Figura 3) demonstrou melhor desempenho comparado aos outros modelos. Como relatado por Santos et al.^[39], em estudos sobre cinética bicompartimental para produção *in vitro* de gases, a utilização de dois compartimentos permite representar mais adequadamente fenômenos com diferentes velocidades ao longo do tempo. Essa estrutura foi crucial para descrever adequadamente o comportamento de *Urochloa* spp., já que suas características morfofisiológicas, como relação colmo: folha e espessura dos tecidos, impactam diretamente a velocidade com que essas gramíneas perdem água^[40; 41].

A interpretação dos parâmetros vindos dos modelos matemáticos se baseia em significados biológicos como no caso do parâmetro k , além de PA1 e PA2 que representam o teor de matéria seca ao final da fase rápida (PA1) e na lenta (PA2) que representam estados físicos mensuráveis. Esses indicadores são importantes, pois demonstram o comportamento das cultivares a campo e permitem ver a proximidade com o teor de umidade ideal para o enfardamento do material. Além dos fatores biológicos, os parâmetros a , b e n são definidos como constantes empíricas de integração, tendo a função de ajuste matemático tanto da curva quanto do formato das funções, não tendo conexão direta com a fisiologia das plantas. Esses parâmetros variam conforme escala temporal, valores iniciais e condições do modelo.

Analisando a Figura 3 confirma que modelos multifásicos como o modelo Logístico bicompartimental foi o que apresentou menor distância entre os valores observados e os estimados em todo o processo, para todas as cultivares e para as formas de processamento (triturado e inteiro). Esta superioridade estatística condiz com a literatura, que indica a versatilidade de modelos onde vários componentes descritivos têm a capacidade de serem utilizados para representar sistemas biológicos complexos^[38; 39]. Mas deve-se ter cuidado ao utilizar modelos complexos, os que têm três ou mais parâmetros por conta da insignificância estatística e falha na parcimônia^[30].

5. CONCLUSÃO

É possível estimar a taxa de desidratação de *Urochloas* spp., trituradas ou não, para produção de fenos através do uso de modelos matemáticos não lineares. Os modelos Gompertz, Logístico e Logístico bicompartimental apresentam melhor adequabilidade estatística e biológica para modelar o processo de desidratação. Dentre eles, o modelo logístico bicompartimental tem o melhor ajuste em todas as etapas avaliadas. Assim, a modelagem mais assertiva, para a desidratação das forragens, requer um modelo multifásico que reflete os aspectos morfológicos das plantas. Apesar dos bons ajustes, o modelo de Gompertz e Logístico são mais indicados para estimar a taxa de desidratação geral, podendo ser utilizados quando não se deseja conhecer a taxa de desidratação das forragens nas diferentes fases.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Detmann, E. (2022). Produziu o pasto para a seca: Como aproveitá-lo melhor usando a suplementação? In M. E. R. Santos, J. A. Martuscello, & S. C. Silva (Orgs.), *Todo ano tem seca! Está preparado?: Estratégias para produção e uso do pasto na época seca* (Cap. 13, pp. 389–419). Reino Editorial.
- [2] Reis, R. A., Barbero, R. P., & Hoffmann, A. (2016). Impactos da qualidade da forragem em sistemas de produção de bovinos de corte. *Informe Agropecuário*, 37(292), 36–53.
- [3] Paciullo, D. S. C., Gomide, C. A. M., Santos, A. M. B., Morenz, M. J. F., Castro, C. R. T., Silva, R. B., & Sobrinho, F. S. (2008). *Alternativas para a produção de forragem na entressafra e a formação de palhada para o plantio direto* (Comunicado Técnico nº 106). Embrapa Gado de Leite.
- [4] Reis, R. A., & Rodrigues, L. R. A. (1998). Avaliação da qualidade dos fenos de gramíneas tropicais armazenados com diferentes níveis de umidade e tratados com amônia. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 21(5), 866–873.
- [5] Zamudio, D., et al. (2024). Factors affecting nutrient losses in hay production. *Grass and Forage Science*, 79(4), 499–515.
- [6] Evangelista, A. R., & Lima, J. A. (2013). Produção de feno. *Informe Agropecuário*, 34(277), 43–52.

- [7] Fikry, M., Jafari, S., Shiekh, K. A., Kijpatanasilp, I., Chheng, S., & Assatarakul, K. (2024). Kinetic modeling of moisture transfer and phytochemical properties in Longan seeds: Impact of ultrasonic pretreatment and microwave drying process. *Food and Bioprocess Technology*, 18(12), 5134–5151. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03421-0>
- [8] Ertekin, C., & Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 701–717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>
- [9] Valente, D. S. M., Queiroz, D. M., Silva, L. C., Oliveira, G. H. H., & Santos, F. L. (2012). LINSEC - The software for modeling and simulation of grain drying systems. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4), 664–673. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195323720007>
- [10] İnan-Çinkır, N., Süfer, Ö., & Pandiselvam, R. (2024). Kinetic and artificial neural network modeling of dried black beauty eggplant (*Solanum melongena* L.) slices during rehydration. *Journal of Food Processing Engineering*, 47(3), Artigo e14567. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14567>
- [11] Rodrigues, E., Silva, J. N., Souza, C. M. A., Lacerda Filho, A. F., & Chaves, M. A. (2008). Simulação da secagem de abacaxi em fatias em secador de leito fixo. *Engenharia na Agricultura*, 16(4), 381–393.
- [12] Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª ed.). Embrapa.
- [13] CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. cap. 18.5, p. 332-341.
- [14] Adindu, M. N., & Williams, J. O. (2003). Effect of storage on dehydrated African breadfruit seeds (*Treculia africana* Decne). *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1–8.

- [15] Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17, 1167–1168. <https://doi.org/10.13031/2013.37052>
- [16] Sharaf-Eldeen, Y. I., Blaisdell, J. L., & Hamdy, M. Y. (1980). A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, 23(5), 1261–1265. <https://doi.org/10.13031/2013.34757>
- [17] Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115, 513–583.
- [18] Sahoo, M., et al. (2022). Estudo do comportamento de secagem e da cinética das cores da secagem convectiva de fatias de inhame (*Dioscorea hispida*). *Culturas e Produtos Industriais*, 176, Artigo 114258.
- [19] Vogels, M., Zoeckler, R., Stasiw, D. M., et al. (1975). P. F. Verhulst's "Notice sur la loi que la populations suit dans son accroissement" from correspondence mathématique et physique. *Journal of Biological Physics*, 3, 183–192. <https://doi.org/10.1007/BF02309004>
- [20] Schofield, P., Pitt, R. E., & Pell, A. N. (1994). Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. *Journal of Animal Science*, 72, 2980–2991.
- [21] Arslan, D., & Özcan, M. M. (2008). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and color characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1258–1264. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.005>
- [22] O'Callaghan, J. R., Menzies, D. J., & Bailey, P. H. (1971). Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 16(3), 223–244. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(71\)80016-1](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(71)80016-1)
- [23] Erbay, Z., & Icier, F. (2010). Uma revisão da secagem em camada fina de alimentos: Teoria, modelagem e resultados experimentais. *Revisões Críticas na Food Science and Nutrition*, 50(5), 441–464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>

- [24] Thompson, T. L., Peart, R. M., & Foster, G. H. (1968). Mathematical simulation of corn drying: A new model. *Transactions of the ASAE*, 11(4), 582–586. <https://doi.org/10.13031/2013.39473>
- [25] Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach* (2nd ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/b97636>
- [26] Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/MATH452/%CE%86%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%AC/Akaike_1974.pdf
- [27] Robinson, D., Hayes, A., & Couch, S. (2023). *broom: Convert statistical objects into tidy tibbles* (R package versão 1.0.5). <https://CRAN.R-project.org/package=broom>
- [28] Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. (2002). Thin-layer modeling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 349–357.
- [29] Santos, B. R. C., Peripolli, V., Pires, P. G. S., Schwegler, E., Moreira, F., Casas, B. A. D., Rinaldi, B. J. D., & Campos, A. F. (2025). Estratégias para mitigar os efeitos da sazonalidade forrageira: Silagens, rações totalmente misturadas e coprodutos agroindustriais. In *Nutrição animal: Novas perspectivas e avanços para a sustentabilidade e otimização dos sistemas de criação* (pp. 187–202). Editora [Inserir editora se aplicável]. <https://doi.org/10.37885/250519314>
- [30] Buzrul, S. (2022). Reassessment of thin-layer drying models for foods: A critical short communication. *Processes*, 10(1), Article 118. <https://doi.org/10.3390/pr10010118>
- [31] Sawhney, R. L., Pangavhane, D. R., & Sarsavadia, P. N. (2009). *Drying studies of single layer Thompson seedless grapes* [Trabalho apresentado]. International Solar Food Processing Conference, Indore, Índia. <https://www.researchgate.net/publication/242290171>
- [32] Kraiem, K., Abdelmoumen, S., & Ben-Ali, S. (2023). Dehydration study of apple slices by a non-thermal process. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(28), 40620–40628. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27517-w>

- [33] Martinazzo, F. C., Oliveira, D. M., Silva, R. S., et al. (2007). Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(2), 205–210. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/YBJHpYsQNXwhMW75zxKbnHF/>
- [34] Anjos, J. F., & Silva, A. R. (2015). Cinética de secagem e modelagem matemática do fruto de buriti (*Mauritia flexuosa*). *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 2, 45–52. <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/cintica-de-secagem-e-modelagem-matematica-do-fruto-de-buriti-mauritia-flexuosa-19927>
- [35] Carvalho, M. S., Corrêa, P. C., Silva, G. N., Lopes, L. M., & Sousa, A. H. (2022). Kinetics and mathematical modeling of the drying process of macaúba almonds. *Revista Caatinga*, 35(1), 199–205. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n120rc>
- [36] De Col, L. F. O., Daiane, K., & Zamboni, L. (2023). Mathematical modeling of grain drying – Thompson’s theoretical model for durum wheat. *Revista E-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*, 16(2). <https://doi.org/10.18624/etech.v16i2.1272>
- [37] Ghosh, S.; Seshadri, S.; Jayaraman, Gayathri; VIJAYA, Padmapriya; RAJENDRAN, Sujatha; RAGHAVAN, Vikram. Accurate birth weight prediction from fetal biometry using the Gompertz model. *PLoS ONE*, [S.l.], v. 19, n. 7, e0306786, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306786>. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11490867/>
- [38] Lemus-Mondaca, R., Zambra, C., Marín, F., Pérez-Won, M., & Tabilo-Munizaga, G. (2018). Mass transfer kinetic and quality changes during high-pressure impregnation (HPI) of Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) slices. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 2174–2186. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2146-0>
- [39] Santos, A. L. P., Ferreira, T. A. E., Brito, C. C. R., Gomes-Silva, F., Moreira, G. R., Leite, L. A., Reis, R. B., & Pimentel, P. G. (2023). New bicompartamental model: An application for the production of gases using the in vitro technique. *Semina: Ciências Agrárias*, 44(5), 1733–1744. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n5p1733>
- [40] Muglia, G. R. P. (2024). *Influência da adubação nitrogenada nos parâmetros luminosos, morfogênicos e produtivos em diferentes materiais genéticos de Urochloa*

[Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados]. Repositório Institucional UFGD.

[41] Valle, C. B., et al. (2017). *BRS Ipyporã: Híbrido de Brachiaria da Embrapa* (Comunicado Técnico nº 137). Embrapa Gado de Corte.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163299/1/JOSE-ALMEIDA-PEREIRA.pdf>

CAPÍTULO 3- TAXA DE DESIDRATAÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE *Urochloa* spp.

RESUMO- Objetivou-se avaliar as cultivares de *Urochloa* spp. e os efeitos da trituração pós-corte, sobre a cinética de desidratação, e a composição química-bromatológica dos fenos. Foram testadas duas formas de processamento (ferragem não triturada - FNT; e ferragem triturada - FT) e quatro cultivares (*Ruziziensis*, *Convert 330 Sabiá*, *BRS RB331 Ipyporã* e *BARG156 780J*), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4. Avaliou-se a composição morfológica (comprimento e espessura de colmos e folhas), cinética de desidratação, através do modelo logístico bicompartimental, e composição químico-bromatológica (MO, PB, EE, FDN, FDA, CT e CNF). Para a estimativa da cinética de desidratação foi utilizando o modelo logístico bicompartimental. A trituração (FT) aumentou a taxa de desidratação na fase rápida (k_1), além de reduzir as perdas de PB, CT e CNF, mas não resultou em maior perda total de água acumulada na fase 1 e na fase 2 (PA1 e PA2). O feno triturado demorou mais para começar a perder água (89 min) em comparação ao feno íntegro (42 min) devido à compactação do material no interior do saco de rafia, que dificultou a aeração, a cultivar *ruziziensis* foi a que mais sofreu alterações bromatológicas com o processamento. A cultivar Sabiá apresentou as maiores perdas acumuladas de Proteína Bruta (PB) ao longo do tempo. A 780J foi a que apresentou maior resistência à desidratação devido a sua amplitude no intervalo de confiança para quase todos os parâmetros da cinética de secagem. Por fim a cultivar BRS RB331 Ipyporã apresentou-se como a mais estável, em suas características, para a produção de feno, devido à boa previsão do comportamento de secagem e estabilidade dos componentes nutricionais. Porém, todas as cultivares resultaram em fenos de boa qualidade. A trituração do material altera a cinética de secagem das plantas forrageiras, de modo a reduzir as perdas de carboidratos e proteínas durante a desidratação, permitindo melhor conservação dos nutrientes no feno.

PALAVRAS-CHAVE: Adensamento interparticulado, cinética de secagem bicompartimentada, homeostase bromatológica, morfologia de *Urochloa* spp.

CAPÍTULO 3- DEHYDRATION RATE AND NUTRITIONAL VALUE OF *Urochloa* spp. HAY

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate *Urochloa* spp. cultivars and the effects of post-cut grinding on dehydration kinetics and the chemical–bromatological composition of hays. Two processing methods were tested (non-ground forage – NGF; and ground forage – GF) and four cultivars (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã, and BARG156 780J), arranged in a completely randomized design in a 2×4 factorial scheme. Morphological composition (length and thickness of stems and leaves), dehydration kinetics using the bicompartimental logistic model, and chemical–bromatological composition (OM, CP, EE, NDF, ADF, TC, and NFC) were evaluated. For estimating dehydration kinetics, the bicompartimental logistic model was used. Grinding (GF) increased the dehydration rate in the fast phase (k_1), and reduced losses of CP, TC, and NFC, but did not result in greater total accumulated water loss in phase 1 and phase 2 (PA_1 and PA_2). Ground hay took longer to begin losing water (89 min) compared to intact hay (42 min), due to material compaction inside the raffia bags, which hindered aeration. The Ruziziensis cultivar showed the greatest changes in bromatological composition due to processing. The Sabiá cultivar exhibited the highest cumulative losses of crude protein (CP) over time. The 780J cultivar showed greater resistance to dehydration, as indicated by the wider confidence interval range for most drying kinetics parameters. Finally, the BRS RB331 Ipyporã cultivar was the most stable in its characteristics for hay production, due to its consistent drying behavior and stability of nutritional components. However, all cultivars resulted in good-quality hay. Grinding the material alters the drying kinetics of forage plants, reducing losses of carbohydrates and proteins during dehydration and allowing better preservation of nutrients in the hay.

KEYWORDS: Interparticle compaction, bicompartimental drying kinetics, bromatological homeostasis, morphology of *Urochloa* spp.

1. INTRODUÇÃO

Garantir uma rápida taxa de desidratação é fator primordial para garantia da conservação dos atributos quantitativos e qualitativos e na produção de feno. Assim, quanto mais rápido for o processo de desidratação, menor a janela necessária para fenação e a dependência dos fatores climáticos^[1]. Dentro deste contexto, onde a desidratação é diretamente influenciada pelos fatores morfológicos das plantas, gramíneas do gênero *Urochloa*, apresentam, em geral, maior dificuldade de desidratação, dada ao maior porte das cultivares mais utilizadas no Brasil, a exemplo da Marandu^[2].

Entretanto, novos híbridos têm sido disponibilizados no mercado de sementes forrageiras para pastagens, os quais têm apelo nas melhores produtividades de folhas e melhores valores nutricionais, características estas que podem favorecer a taxa de desidratação e produção de fenos de melhor qualidade^[2]. Associado a isto, no estado Mato Grosso do Sul, tem-se o apelo de que o produtor possa utilizar sua própria forragem utilizada nas pastagens, majoritariamente *Urochloas*, para conservar o excedente na forma de feno.

Um dos grandes entraves na produção de feno é a dependência de fatores ambientais como: radiação solar, temperatura, chuva e velocidade dos ventos, para a desidratação. Assim, conhecer as características morfológicas de cada cultivar e as condições ambientais adequadas para a fenação, é a chave para uma adequada fenação, de modo a garantir a conservação da composição bromatológica da planta durante todo o processo, resultando em um produto final de alta qualidade, de modo a manter os teores aceitáveis de proteína bruta, lignina, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido^[3,4].

Atributos como diâmetros de colmo, área foliar e densidade estomática desempenham papéis fundamentais no processo de desidratação, pois, plantas com colmos menos espessos, maior área foliar e maior densidade estomática, tendem a ter maior superfície de contato com os fatores atmosféricos, o que facilita a saída de água da planta^[5,6].

No caso de plantas com aspectos morfológicos divergentes à desidratação, o processamento mecânico pode atuar como uma estratégia para favorecer o menor tamanho de partícula e aumento da superfície de contato, de forma a acelerar o processo de desidratação. Por outro lado, o processamento pode ocasionar

compactação devido a redução do tamanho das partículas que adensam e deixam o material mais pesado, dificultando a aeração do material^[7,8].

O uso de modelagem matemática pode ser utilizado como ferramenta para acompanhar e entender a dinâmica dos processos de desidratação, de maneira a otimizar a fenação. Desta forma, o uso do modelo logístico bicompartimental pode contribuir significativamente para explicar processos complexos, pois ele oferece parâmetros biológicos diretos, além de permitir prever como variáveis afetam as propriedades físico-químicas e sensoriais de alimentos^[9,10]. Assim, considerando os desafios da produção de fenos de qualidade e ferramentas que otimizem o processo, objetivou-se avaliar neste estudo a influência das características morfológicas e da trituração pós-corte, sobre a cinética de desidratação e perdas de nutrientes, bem como a composição química-bromatológica dos fenos de *Urochloas* spp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido de 30 de abril a 03 de maio do ano de 2025, com médias de temperatura de 33°C e 45% de umidade, respectivamente, no período do estudo, conforme tabela abaixo.

Tabela 1. Dados climatológicos relevantes no período do experimento obtidos da estação meteorológica da Embrapa Centro Oeste de Dourados.

Data	T (°C)	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	URM (%)	URm (%)	U2 (m/s)	U2M (m/s)	Chuva (mm)	Rs (MJ/m²/dia)	ET0 (mm/dia)
30/04/25	18,6	27,1	10,5	73	100	39	0,73	3,73	0	20	3,2
01/05/25	20,2	27,4	14,8	80	100	50	0,75	4,15	0	19,4	3,3
02/05/25	21	29,2	13,8	76	100	46	0,76	4,01	0,1	19,2	3,3
03/05/25	22	29,2	16,4	87	100	59	0,72	3,36	0	13,8	2,7
04/05/25	23,3	29,6	18,1	81	100	56	0,78	4,89	0	15	2,9

ET0: evapotranspiração, Rs: radiação solar global diária, Mj: Megajoule, m²: metro quadrado, URm: Umidade relativa mínima, URM: Umidade relativa máxima, UR: Umidade relativa do ar, Tm: Temperatura mínima, TM: Temperatura máxima, T: Temperatura, C°: Celsius, U2: velocidade média do vento a 2 metros do solo, U2M: velocidade máxima do vento a 2 metros do solo. Fonte: Embrapa Centro Oeste

A área experimental fica localizada no Campo Agrostológico – Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FCA-UFGD), sob as coordenadas geográficas 22°11'45,5"S 54°56'15,3", O clima conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico úmido com verão chuvoso, O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, na cidade de Dourados-Mato Grosso do Sul.

Tabela 2. Características físicas e químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0 a 0,3m de profundidade

pH	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	T	P	P-rem	V	M
CaCl ₂			 cmol _c .dm ⁻³					mg.dm ⁻³		 %	
5,20	0,00	5,55	9,41	4,21	0,54	14,16	19,71	8,48	8,16	71,84	0,00
Areia	Silte	Argila	C	MO	Fe		Zn	Cu	Mn	S	B
..... %			 g.dm ⁻³		 mg.dm ⁻³						
17,5	18,7	63,7	15,50	26,66	39,60	4,60	15,40	43,20	3,85	0,26	

Cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (Al); hidrogênio mais alumínio (H+Al); potássio (K); fósforo (P) (Mehlich I); cloreto de cálcio (CaCl₂). Enxofre (S); zinco (Zn); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn).

Fonte: Solanálise - Central de Análises LTDA, Cascavel - PR.

O delineamento do experimento foi feito inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x4, duas formas de processamento (forragens apenas cortadas e não trituradas - FNT e forragens trituradas em triturador do tipo estacionário, de modo a proporcionar partículas de tamanho 19 mm - FT) e quatro cultivares de *Urochloa* (Ruziziensis, Convert 330 Sabiá, BRS RB331 Ipyporã e BARG156 780J). As cultivares foram plantadas no ano de 2019 em canteiros com dimensão de 2,5 x 4 m, com 8 repetições por cultivar, totalizando 32 canteiros. Desde a implementação da área foram feitos manejos de plantas invasoras através de controle químico e controle mecânico, para que não houvesse competição por espaço e nutrientes. As limpezas realizadas e cortes de manutenção disponibilizam forragem para ser depositada nas entrelinhas dos canteiros e permitir que ocorresse a ciclagem desse material, ocupação de espaço para não surgimento de plantas invasoras e garantir também recursos para contribuir com a estruturação do solo e disponibilidade de nutrientes.

2.2 Produção de feno

O feno foi produzido utilizando a metodologia de secagem em sacos de ráfia, adaptada de Adindu e Williams^[11] utilizaram-se sacos de ráfia com tamanho de 35 x 62 cm e capacidade de 10 kg com cores diferentes para os tratamentos. Além da diferenciação dos tratamentos (forma de processamento) por cor do saco de ráfia, as cultivares foram separadas por quatro cores de fitas diferentes que correspondiam cada uma a sua respectiva cultivar. Os sacos eram cobertos com lona no período da noite para diminuir o contato com o orvalho, pela manhã a lona era retirada de cima dos sacos de ráfia e após uma hora era retomado o processo de pesagem e revolvimento para o material secar de forma uniforme.

Foram utilizados quatro sacos de ráfia com 1 kg de material cada que foram destinados para as coletas de material dentro dos tempos 0, 8, 32, 56 e 80 horas após o corte para análises laboratoriais.

2.3 Composição morfológica

Foram selecionados, aleatoriamente, quinze perfilhos de cada cultivar para mensurar, com auxílio de paquímetro, as medidas de comprimento e de espessura das folhas e dos colmos. Também se contou o número de folhas em cada perfilho. As amostras de folha (lâminas foliares), colmo (bainhas foliares e colmo) e material senescente das plantas foram levadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a 55 °C por 72 horas, sendo após este período retiradas e pesadas. A partir destes

dados foram calculadas as seguintes variáveis: produção de forragem (PF) em MS; produção de folhas (PF), colmos (PC) e material morto (PM) expressos em gramas que foram convertidos para percentual de cada componente em função do total e foi calculada a relação folha e colmo (PF/PC).

2.4 Composição químico-bromatológica

As amostras foram acondicionadas em saco plástico nas horas 0; 8; 32; 56 e 80 após o corte, para análise química - bromatológica. Depois tiveram suas massas quantificadas ainda verdes, logo após, foram levadas ao freezer no laboratório para resfriar e interromper o processo de fotossíntese e respiração. As amostras foram transferidas para saco de papel com aberturas para ajudar na ventilação, identificadas de acordo com a cultivar, tratamento e tempo após o corte, em seguida acomodadas em estufa de ventilação forçada de 55° pelo período de 72 horas para determinar o valor da ASA das mesmas.

A subamostra foi inicialmente moída em moinho tipo Willey (2 mm). Em seguida, armazenadas em sacos plásticos para a realização das análises de concentração de matéria seca (MS, método 934.01), matéria mineral (MM, método 942.05), matéria orgânica (MO, 100 - MM), proteína bruta (PB, $N \times 6.25$, método Kjeldahl 954.01), extrato etéreo (EE, método 920.39), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (método 973.18), conforme AOAC^[12]. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos conforme método descrito por Van Soest, Robertson, Lewis^[13]. A estimativa de carboidratos totais (CT) e carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados de acordo com as equações propostas por Sniffen et al.^[14].

2.5 Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

Para análise dos dados de comparação das cultivares foram utilizados os parâmetros do modelo logístico bicompartimental que tem equação proposta por Schofield et al.^[152]:

$$MS = PA1/(1+\exp(2-4 \cdot k_1 \cdot (t-L))) + PA2/(1+\exp(2-4 \cdot k_2 \cdot (t-L)))$$

onde:

PA1: Perda acumulada de água na fase rápida;

PA2: Perda acumulada de água na fase lenta;

k₁: Taxa de desidratação na fase rápida;

k₂: Taxa de desidratação na fase lenta;

L: Tempo em que a planta começa desidratar.

Para as variáveis químicas-bromatológicas (MM, MO, PB, EE, FDN, FDA, CT, CNF), realizou-se análise de variância e quando significativa ($p < 0,05$) as variáveis tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando a conforme modelo matemático.

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + \varepsilon_{a(ij)} + P_j + (C \times P)_{ij} + \varepsilon_{b(ijk)}$$

Onde:

Y_{ijk} : Variável resposta observada (ex.: perda acumulada, qualidade nutricional);

μ : Média geral do experimento;

C_i : Efeito do i-ésimo nível de cultivar ($i = 1, 2, \dots, c$; $c=1,2,\dots,c$), sendo c o número de cultivares;

$\varepsilon_{a(ij)}$: Erro experimental a, associado às parcelas principais, com $\varepsilon_{a(ij)} \sim N(0, \sigma_a^2)$;

P_j : Efeito do j-ésimo nível de processamento ($j = 1, 2, \dots, p$), sendo p o número de processamentos;

$(C \times P)_{ij}$: Efeito da interação cultivar $\times$ processamento

$\varepsilon_{b(ijk)}$: Erro experimental b, associado às subparcelas, com $\varepsilon_{b(ijk)} \sim N(0, \sigma_b^2)$

O procedimento computacional foi realizado com o software R versão 4.3.0. A análise foi conduzida com a função `psub2.dic` do pacote `ExpDes.pt`^[16], considerando os fatores cultivares e processamento do feno como qualitativos.

Para as variáveis calculadas ao longo do tempo (perda de nutrientes no tempo e perda de nutrientes acumulada), empregou-se um modelo de efeitos mistos com o pacote `nlme`. O modelo incluiu efeitos fixos para a interação tríplice Cultivar $\times$ Tratamento $\times$ Tempo, onde o efeito de Tempo foi modelado como um polinômio de segundo grau. Efeitos aleatórios foram incorporados para o esquema aninhado Repetição/Cultivar/Tratamento para controlar a estrutura experimental. Conforme equação abaixo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + f(\gamma_k) + (\alpha f(\gamma))_{ik} + (\beta f(\gamma))_{jk} + (\alpha\beta f(\gamma))_{ijk} + R_l + C(R)_{il} + T(C)_{jil} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y_{ijkl} : valor observado no tempo k

μ : média geral

α_i : efeito fixo do i -ésimo Cultivar ($i=1,2,\dots, a$)

β_j : efeito fixo do j -ésimo Tratamento ($j=1,2,\dots,b$)

$(\alpha\beta)_{ij}$: interação fixa Cultivar $\times$ Tratamento

$f(\gamma k)$: efeito polinomial de segundo grau para o Tempo (γk)

$(\alpha f(\gamma))_{ik}$: interação fixa Cultivar $\times$ Tempo (componente polinomial)

$(\beta f(\gamma))_{jk}$: interação fixa Tratamento $\times$ Tempo (componente polinomial)

$(\alpha\beta f(\gamma))_{ijk}$: interação tríplice fixa Cultivar $\times$ Tratamento $\times$ Tempo (componente polinomial)

R_l : efeito aleatório da l -ésima Repetição $\sim N(0, \sigma^2_R)$

$C(R)_{il}$: efeito aleatório da Cultivar aninhada na Repetição $\sim N(0, \sigma^2_{C:R})$

$T(C)_{jil}$: efeito aleatório do Tratamento aninhado na Cultivar e Repetição $\sim N(0, \sigma^2_{T:C:R})$

ε_{ijkl} : erro residual $\sim N(0, \sigma^2_\varepsilon)$

O termo $f(\gamma k)$ foi modelado como:

$$f(\gamma k) = b_1 \cdot \text{Tempo} + b_2 \cdot \text{Tempo}^2$$

Após o ajuste do modelo, realizou-se uma ANOVA para avaliar a significância dos efeitos fixos. As comparações múltiplas de médias para os níveis de cultivar e tratamento foram feitas com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando a função `emmeans` do pacote `emmeans`^[17]. A significância e os coeficientes da tendência polinomial para o Tempo foram extraídos da tabela de coeficientes do modelo.

3. RESULTADOS

Os valores das variáveis referentes à composição morfológica das cultivares estão apresentados na Tabela 1. Não houve diferença entre as cultivares ($p>0,05$) para as variáveis peso de folha e colmo, bem como para a relação folha: colmo. Por outro lado, houve diferença significativa ($p<0,05$) nos parâmetros morfológicos de comprimento e espessura das folhas e colmos das cultivares avaliadas, com destaque para a cultivar Ipyporã, que apresentou os maiores valores de comprimento de colmo, espessura do colmo e espessura de folhas, com valores de 36,53 cm, 3,17mm e 0,39mm, respectivamente. Os menores comprimentos de colmos foram observados na Sabiá (média 23,87cm). As cultivares Ruziziensis e 780J apresentaram os menores comprimentos de folhas, enquanto as menores espessuras de folhas foram contatadas nas cultivares Ruziziensis e Sabiá.

Tabela 3. Médias e desvio padrão da composição morfológica das cultivares estudadas

Variáveis/ Cultivares	Ruzizensis	Sabiá	Ipyporã	780J	p-valor
Comprimento de colmo (cm)	27,83 ± 8,44 bc	23,87 ± 2,03 c	36,53 ± 5,69 a	31,44 ± 1,31 b	<0,001
Espessura de colmo (mm)	2,10 ± 0,70 b	2,50 ± 0,53 b	3,17 ± 0,27 a	2,55 ± 0,53 b	<0,001
Comprimento de folha (cm)	18,29 ± 8,65 c	31,83 ± 6,40 a	26,56 ± 8,95 b	16,95 ± 6,74 c	<0,001
Espessura de folha (mm)	0,21 ± 0,11 c	0,27 ± 0,15 c	0,39 ± 0,12 a	0,33 ± 0,10 b	<0,001
Peso folha (g de MS)	24,67 ± 7,51	27,67 ± 11,55	25,00 ± 7,00	26,33 ± 5,86	0,968
Peso colmo (g de MS)	13,00 ± 6,56	23,00 ± 16,82	18,00 ± 7,00	12,67 ± 4,04	0,563
Relação folha:colmo	2,10 ± 0,64	1,67 ± 1,03	1,46 ± 0,31	2,20 ± 0,70	0,565

Letras minúsculas diferentes, na mesma linha, indicam significância estatística dentro das características morfológicas.

Para os parâmetros da cinética de desidratação não houve efeito ($p > 0,05$) de interação entre cultivares e processamento do feno em nenhum dos parâmetros. Porém, a fase de desidratação lenta (k_2) foi influenciada pelo efeito das cultivares, observando-se maiores valores médios de perdas de água, nesta fase, nas cultivares Sabiá e Ruzizensis (0,019 e 0,016 g h⁻¹, respectivamente). Com exceção da taxa de desidratação na fase lenta (k_2), verificou-se efeito significativo do processamento da forragem ($p < 0,05$) para os demais parâmetros avaliados (Tabela 2).

Ao analisar a tabela 2, para os parâmetros relativos ao ponto de máxima perda acumulada de água, nas fases rápida (PA1) e lenta (PA2), nota-se que os fenos não triturados (FNT) tiveram maiores perdas médias (428 e 740 g, respectivamente) que o feno submetido ao processamento (FT; 325 e 476 g, respectivamente). Quanto às taxas de desidratação rápida (k_1) o feno com a forragem triturada (FT) foi superior ao FNT (0,271 vs 0,135 g h⁻¹). Em contrapartida, o FNT começou a perder água mais rapidamente que o feno triturado, pois a fase L (tempo para início da perda de água) foi menor nesse feno (0,79 h vs 1,42 h).

Tabela 4. Média, intervalo de confiança (95%) e valores de probabilidade para os fatores cultivar, processamento e interação dos parâmetros da cinética de desidratação de fenos de cultivares de *Urochloa* spp trituradas (FT) ou não (FNT).

Parâmetro	Cultivar	FT	FNT	$\bar{X}$ cultivar	p-valor
PA1 (g)	Ruzizensis	294,01 (18,01 e 347,51)	464,80 (327,45 e 602,15)	379,40	C 0,062 P <0,002 I 0,206
	Sabiá	338,53 (281,61 e 395,45)	355,49 (257,28 e 453,70)	347,01	
	Ipyporã	346,46 (-36,82 e 37,61)	416,89 (-130,44 e 964,21)	381,67	
	780 J	322,51 (280,21 e 364,82)	475,14 (-233,51 e 1183,78)	398,83	
$\bar{X}$ processamento		325,38	428,08		
PA2 (g)	Ruzizensis	496,48 (424,66 e 568,30)	613,66 (44,20 e 1183,11)	555,07	C 0,35 P<0,01 I 0,26
	Sabiá	467,60 (401,85 e 533,35)	501,15 (405,21 e 597,10)	484,38	
	Ipyporã	441,32 (289,69 e 508,85)	884,98 (-2228,95 e 3998,91)	663,15	
	780 J	465,21 (399,21 e 531,21)	960,64 (-2666,30 e 4587,57)	712,92	
$\bar{X}$ processamento		476,65	740,11		

PA1: Perda acumulada de água na fase rápida, PA2: Perda acumulada de água na fase lenta, K1 (g/h água perdida) : perda de água na fase rápida, K2 (g/h água perdida) : perda de água na fase lenta, L (h) : Tempo. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação).

Tabela 4. Média, intervalo de confiança (95%) e valores de probabilidade para os fatores cultivar, processamento e interação dos parâmetros da cinética de desidratação de fenos de cultivares de *Urochloa* spp trituradas (FT) ou não (FNT).

Parâmetro	Cultivar	FT	FNT	$\bar{X}$ cultivar	p-valor
K1 (g h ⁻¹)	Ruziensiensis	0,324 (0,055 e 0,553)	0,149 (0,074 e 0,225)	0,237	C 0,325
	Sabiá	0,235 (0,122 e 0,349)	0,198 (0,022 e 0,318)	0,217	P<0,001
	Ipyporã	0,208 (0,112 e 0,304)	0,099 (0,013 e 0,185)	0,153	I 0,221
	780 J	0,318 (0,145 e 0,491)	0,094 (0,010 e 0,177)	0,206	
$\bar{X}$ processamento		0,271	0,135		
K2 (g h ⁻¹)	Ruziensiensis	0,017 (0,013 e 0,021)	0,015 (0,009 e 0,020)	0,016	C<0,018
	Sabiá	0,016 (0,011 e 0,021)	0,020 (0,015 e 0,025)	0,019	P 0,099
	Ipyporã	0,016 (0,012 e 0,021)	0,008 (0,002 e 0,014)	0,012	I 0,303
	780 J	0,016 (0,013 e 0,020)	0,008 (0,001 e 0,014)	0,012	
$\bar{X}$ processamento		0,017	0,013		

PA1: Perda acumulada de água na fase rápida, PA2: Perda acumulada de água na fase lenta, K1 (g/h água perdida) : perda de água na fase rápida, K2 (g/h água perdida) : perda de água na fase lenta, L (h) : Tempo. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação).

Tabela 4. Média, intervalo de confiança (95%) e valores de probabilidade para os fatores cultivar, processamento e interação dos parâmetros da cinética de desidratação de fenos de cultivares de *Urochloa* spp trituradas (FT) ou não (FNT).

Parâmetro	Cultivar	FT	FNT	$\bar{X}$ cultivar	p-valor
L (horas)	Ruzizensis	2,087 (1,118 e 3,056)	0,901 (-1,138 e 2,940)	1,494	C 0,077
	Sabiá	1,399 (0,513 e 2,285)	1,432 (0,303 e 2,562)	1,416	P<0,021
	Ipyporã	0,983 (-36,823 e 37,610)	0,393 (-36,823 e 37,610)	0,688	I 0,393
	780 J	1,212 (0,360 e 2,065)	0,442 (-42,083 e 42,967)	0,827	
$\bar{X}$ processamento		1,420	0,792		

PA1: Perda acumulada de água na fase rápida, PA2: Perda acumulada de água na fase lenta, K1 (g/h água perdida) : perda de água na fase rápida, K2 (g/h água perdida) : perda de água na fase lenta, L (h) : Tempo. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação).

Os valores da composição químico-bromatológica estão apresentados na Tabela 3. Nela, observa-se que houve efeito de interação ($p < 0,05$) entre cultivares e processamento para os teores de MO, EE, FDN, CT e CNF. Não houve efeito de interação ($p > 0,05$) para PB e FDA, sendo estes componentes, influenciados apenas pelas cultivares.

Ao realizar o desdobramento entre cultivares e processamento para a MO, os maiores valores foram constatados nos fenos não triturados (FNT) das cultivares Ipyporã e 780J (98,67 e 98,62%, respectivamente). Mas, quando o feno passou pelo processamento de trituração (FT) apenas a cultivar Ruziziensis foi superior (98,79%). Ao avaliar o efeito do processamento dentro de cultivar houve diferença significativa apenas para a Ruziziensis onde o FT foi superior com média de 98,79%.

Os valores de proteína (PB) foram influenciados apenas em relação às cultivares, observando-se menores valores na Ruziziensis (7,74%). Ressalta-se que os valores de PB encontrados neste trabalho estão inferiores aos frequentemente adotados para as gramíneas do gênero *Urochloa* no período das águas (12 a 15%).

No EE, quando o capim estava em seu estado natural (FNT), a cultivar que teve destaque foi o Ipyporã (3,26%). Ao fazer o processamento, as cultivares 780J e Ipyporã foram as que tiveram maiores teores de EE. Ao examinar o efeito do processamento sobre cada cultivar, notou-se que as cultivares ruziziensis e Ipyporã tiveram alterações na fração do EE. Em ambas cultivares, o fato de triturar o material (FT) ocasionou maiores concentrações de EE.

Para a FDN, ao analisar as cultivares dentro de cada processamento, evidencia-se que as cultivares com menor fração foram ruziziensis não triturada (64,45%) e 780J triturado (66,00%). Quando comparado o efeito de processamento, a única cultivar que houve interferência foi a ruziziensis, com valores superiores no FT (69,25), em contraste com 64,45 no FNT.

Ao analisar os teores de carboidratos totais (CT), nos fenos não triturados, observou-se que as cultivares ruziziensis e Sabiá apresentaram as maiores concentrações. Para o FT a Ruziziensis se manteve superior, com 88,58%. Da mesma forma dos componentes alimentares anteriores a Ruziziensis foi a única cultivar que sofreu interferência do processamento, onde o feno processado teve valor superior.

Tabela 5. Composição químico-bromatológica média dos fenos de cultivares de *Urochloas* spp. de forragens trituradas e não trituradas

Parâmetro (% MS ⁻¹)	Cultivar	FT	FNT	$\bar{x}$ cultivar	Erro	p-valor
MO	Ruziziensis	98,79 Aa	98,46 Bb	98,62	0,04	C <0,005
	Sabiá	98,49 b	98,45 b	98,47		P 0,095
	Ipyporã	98,56 b	98,67 a	98,62		I <0,0002
	780 J	98,59 b	98,62 a	98,6		
$\bar{X}$ processamento		98,61	98,55			
PB	Ruziziensis	7,47	8,02	7,74 b	0,21	C <0,001
	Sabiá	9,48	8,64	9,01 a		P 0,263
	Ipyporã	8,21	8,93	8,61 a		I 0,054
	780 J	8,87	9,41	9,17 a		
$\bar{X}$ processamento		8,45	8,75			

Letras minúsculas na coluna representam diferença estatística entre as cultivares dentro do mesmo tratamento; Letras maiúsculas na linha representam diferença estatística entre tratamentos em cada cultivar. C: cultivar, P: processamento, I: interação cultivar x processamento. $\bar{X}$: média MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta EE: extrato etéreo, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, CT: carboidratos totais, CNF: carboidratos não fibrosos, FT: forragem triturada, FNT: forragem não triturada, $\bar{x}$: média, Erro: erro padrão médio. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação

Tabela 5. Composição químico-bromatológica média dos fenos de cultivares de *Urochloas* spp. de forragens trituradas e não trituradas (continuação)

Parâmetro (% MS ⁻¹)	Cultivar	FT	FNT	$\bar{x}$ cultivar	Erro	p-valor
EE	Ruzizensis	2,89 Bc	2,73 Abc	2,81	0,04	C <0,001
	Sabiá	2,84bc	2,89 c	2,86		P 0,2108
	Ipyporã	3,26 Bab	3,04 Aa	3,16		I <0,002
	780 J	3,01 a	3,16 b	3,07		
$\bar{X}$ processamento		2,94	3			
FDN	Ruzizensis	69,25 Aa	64,45 Bb	66,85	0,58	C <0,018
	Sabiá	69,12 a	67,15 a	68,03		P <0,0004
	Ipyporã	69,81 a	67,87 a	68,73		I <0,0089
	780 J	66 b	66,74 ab	66,41		
$\bar{X}$ processamento		68,59	66,55			

Letras minúsculas na coluna representam diferença estatística entre as cultivares dentro do mesmo tratamento; Letras maiúsculas na linha representam diferença estatística entre tratamentos em cada cultivar. C: cultivar, P: processamento, I: interação cultivar x processamento. $\bar{X}$: média MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, CT: carboidratos totais, CNF: carboidratos não fibrosos, FT: forragem triturada, FNT: forragem não triturada, $\bar{x}$: média, Erro: erro padrão médio. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação

Tabela 5. Composição químico-bromatológica média dos fenos de cultivares de *Urochloas* spp. de forragens trituradas e não trituradas (continuação)

Parâmetro (% MS ⁻¹)	Cultivar	FT	FNT	$\bar{x}$ cultivar	Erro	p-valor
FDA	Ruziensiensis	43,82	40,8	42,31 a	0,79	C <0,0183
	Sabiá	41,25	41,41	41,34 ab		P 0,3787
	Ipyporã	42,23	43,61	42,99 a		I 0,2337
	780 J	40,14	39,11	39,57 b		
$\bar{X}$ processamento		41,98	41,23			
CT	Ruziensiensis	88,58 Aa	87,55 Ba	88,07	0,22	C <0,000
	Sabiá	86,12 c	86,98 ab	86,6		P 0,120
	Ipyporã	87,31 b	86,49 b	86,85		I <0,019
	780 J	86,56 bc	86,21 b	86,36		
$\bar{X}$ processamento		87,23	86,81			

Letras minúsculas na coluna representam diferença estatística entre as cultivares dentro do mesmo tratamento; Letras maiúsculas na linha representam diferença estatística entre tratamentos em cada cultivar. C: cultivar, P: processamento, I: interação cultivar x processamento. $\bar{X}$: média. MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, CT: carboidratos totais, CNF: carboidratos não fibrosos, FT: forragem triturada, FNT: forragem não triturada, $\bar{x}$: média, Erro: erro padrão médio. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação

Tabela 5. Composição químico-bromatológica média dos fenos de cultivares de *Urochloas* spp. de forragens trituradas e não trituradas (continuação)

Parâmetro (% MS ⁻¹)	Cultivar	FT	FNT	$\bar{x}$ cultivar	Erro	p-valor
CNF	Ruziensiis	19,33 Bab	23,1 Aa	21,21	0,62	C <0,0018
	Sabiá	17 b	19,83 b	18,57		P <0,0064
	Ipyporã	17,5 ab	18,62 b	18,12		I <0,0334
	780 J	20,56 a	19,47 b	19,95		
$\bar{X}$ processamento		18,64	20,25			

Letras minúsculas na coluna representam diferença estatística entre as cultivares dentro do mesmo tratamento; Letras maiúsculas na linha representam diferença estatística entre tratamentos em cada cultivar. C: cultivar, P: processamento, I: interação cultivar x processamento. $\bar{X}$: média MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, CT: carboidratos totais, CNF: carboidratos não fibrosos, FT: forragem triturada, FNT: forragem não triturada, $\bar{x}$: média, Erro: erro padrão médio. p-valor (C = cultivar; P = processamento e I = Interação)

A Ruziziensis teve maior concentração de carboidratos não fibrosos na FNT (23,1%), enquanto a cultivar Sabiá teve a menor concentração na FT (17,00%). Quando avaliado o efeito da cultivar dentro de cada processamento houve diferença para as cultivares Ruziziensis e Sabiá, com valores superiores na Ruziziensis no FNT, e os menores valores de CNF encontrados no Sabiá triturado.

Observando os efeitos do tempo após o corte sobre a perda acumulada dos teores de nutrientes no feno, houve efeito da interação cultivar x processamento x tempo para as variáveis MO, CT e CNF (Figuras 1 a 3). A PB não houve efeito da interação tripla, mas houve efeito da interação tempo com os fatores cultivar e processamento isolados (Figura 4).

Ao analisar os efeitos do modelo misto, nota-se que cultivar Ipyporã apresentou aceleração maior da perda de matéria orgânica (Figura 1) ao longo do tempo em comparação às demais (valor do modelo 1,15), mas ao analisar a interação tripla, nota-se que o fato de fazer a trituração do feno mudou a dinâmica da curva, onde as cultivares Ruziziensis e Ipyporã tiveram uma redução nas perdas no tempo de MO (valor do modelo = -2,34 e -2,47; respectivamente) em relação ao esperado pela soma dos efeitos individuais.

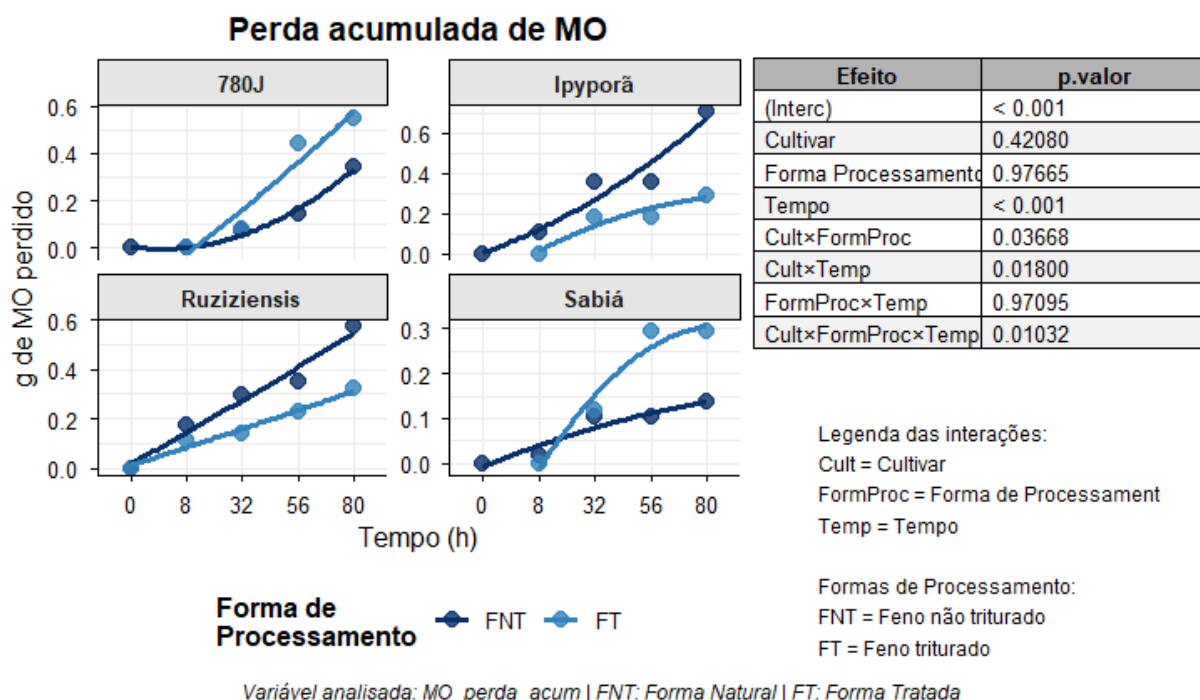


Figura 1 - Perda de matéria orgânica ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.

As perdas de CNF foram reduzidas pelo processo de trituração (valor = 51,4; Figura 2) quando comparado com o FNT, confirmando que partículas menores aceleram o processo de desidratação e ajudam a evitar perdas de compostos solúveis. Ao analisar o efeito isolado das cultivares tem-se que Ipyporã (valor = 17,9), Ruziziensis (valor = 33,7), Sabiá (valor = 23,4) apresentaram maior perda de CNF ao longo do tempo em comparação à 780J. Porém, nas interações Cultivar × Tratamento × Tempo, os coeficientes são negativos e significativos (valores = Ipyporã: -58,5; Ruziziensis: -63; Sabiá: -78,9), ou seja a interação Tempo x Tratamento reduz a perda da fração solúvel.

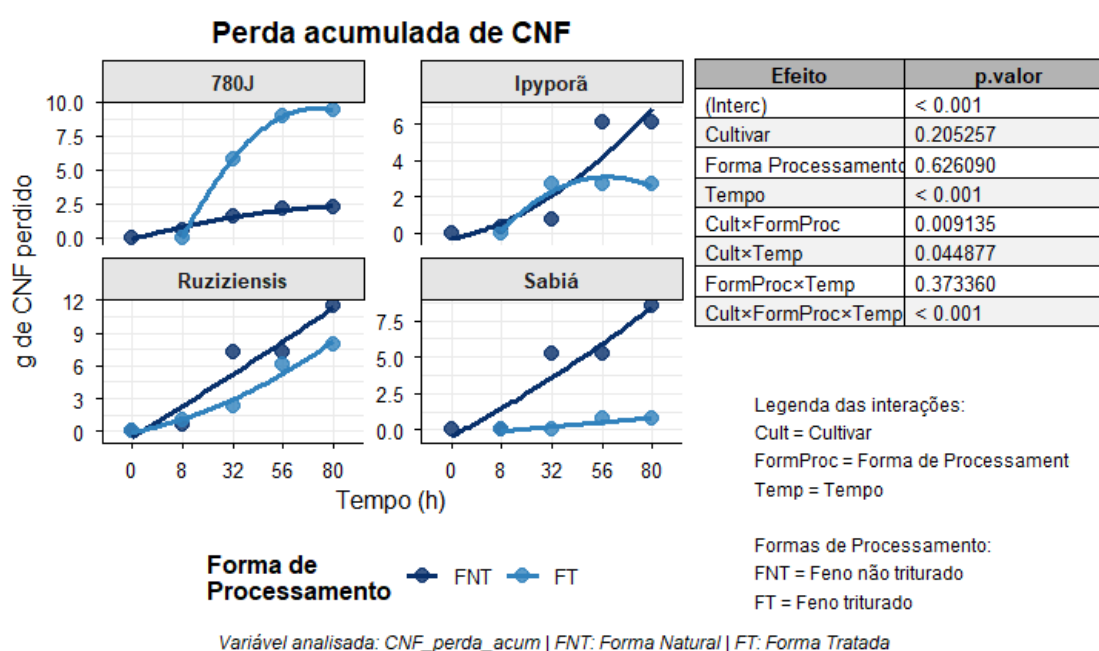


Figura 2 - Perda de carboidratos não fibrosos (CNF) ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.

Em relação às perdas de CT (Figura 3), as cultivares Ruziziensis e Sabiá apresentaram maiores perdas de CT (valores = 8,59 e 15,59; respectivamente) ao longo do tempo em comparação à 780J. O feno triturado não aparece como efeito principal significativo (p-valor = 0,67), mas nas interações com cultivares ele modula negativamente a perda, onde nas cultivares Ruziziensis e Sabiá, a trituração reduz a intensidade da perda de carboidratos totais ao longo do tempo (valor = -11,5 e -24,4; respectivamente).

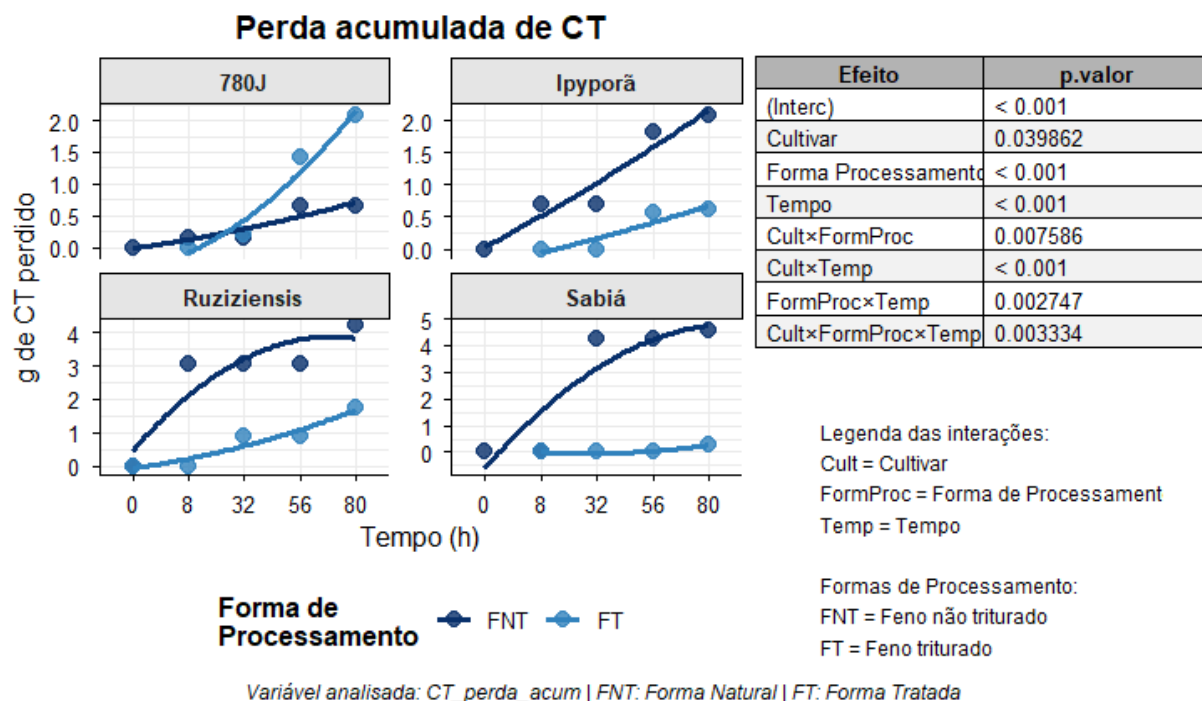


Figura 3 - Perda de carboidratos totais ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.

Em relação às perdas, a cultivar Sabiá se destacou negativamente, com a maior perda acumulada de PB (emmean = 4,49 g de PB perdida h⁻¹), muito acima das demais. ao observar o efeito do processamento, nota-se que o feno triturado perdeu menos proteína bruta acumulada (emmeans de 1,16 g de PB perdida h⁻¹ para o FT contra 2,20 g de PB perdida h⁻¹ para o FNT). Ao analisar as Interações cultivar × tempo, evidenciou-se que cada cultivar tem uma dinâmica própria, onde o Sabiá apresenta uma perda rápida e intensa, mas com desaceleração posterior, já as cultivares 780J, Ipyporã e Ruziensiis não apresentaram efeitos significativos no tempo, indicando curvas mais estáveis (Figura 4).

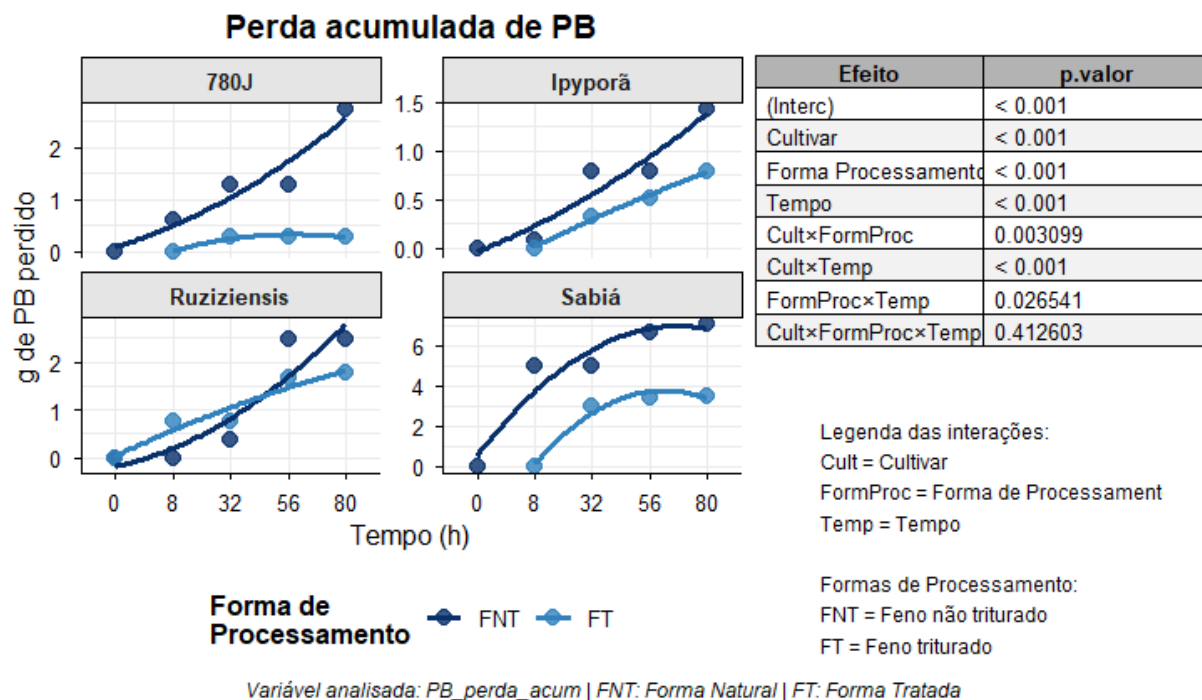


Figura 4 - Perda de proteína bruta ao longo do tempo após a coleta das cultivares de *Urochloa* spp. em função da trituração ou não da forragem.

4. DISCUSSÃO

Embora a cultivar Ipyporã detenha um maior diâmetro e comprimento de colmos (tabela 1) este fator não afetou os parâmetros da cinética de desidratação neste capim (tabela 2). Uma possível explicação que possa justificar esse fato seja sua superfície foliar, uma vez que esta cultivar também foi que apresentou o segundo maior comprimento de folhas, isso faz com aumente a superfície de contato da planta com o ambiente e compense a dificuldade de perdas pelos colmos. Folhas compridas aumentam a área de exposição e facilita a evaporação. Áreas foliares maiores facilitam a saída de água até na fase cuticular, pois oferecem mais pontos de saída na fase mais lenta em que a principal barreira são as cutículas^[18, 6].

O fato da cultivar Ipyporã ter colmos mais espessos (Tabela 1) resultou em teores mais altos de FDN e valores menores de CT e CNF (tabela 3). Pois a planta conforme forma colmos mobiliza carboidratos solúveis e aumenta a síntese de carboidratos fibrosos. Esse aumento de teores de fibra e redução de CT e CNF ocorre pelo fato da planta ativar o mecanismo de proteção e sustentação que é uma função biológica essencial para ela suportar o peso do dossel e também para sobreviver. Naturalmente os colmos possuem menores teores de CNF comparados às folhas, então os metabólitos solúveis gerados pela fotossíntese acabam sendo consumidos

pelo processo de crescimento e espessamento dos colmos alterando-os para tecidos estruturais fibrosos^[10 - 21].

Outro fator que pode ter contribuído para a ausência de alterações na cinética de desidratação dos capins foi a relação folha:colmo, a qual apresentou-se similar entre todas as cultivares (tabela 2). O fato das cultivares pertencerem ao mesmo gênero faz com que mantenham algumas características morfológicas similares e, mesmo tendo variação intrínseca em alguns aspectos, contribuem para a desidratação^[22]. As cultivares não apresentaram significância estatística a ponto de serem morfológicamente muito distintas. Mesmo não tendo padrão numérico geral que expresse o valor exato de uma boa relação F:C, o percentual mínimo indicado, que seria necessário para produção de fenos de alta qualidade é de 45% de folhas, o que se aproxima de 0,82^[8].

Ao analisar os limites dos intervalos de confiança dos parâmetros da cinética de desidratação, nota-se que a cultivar 780J foi a que teve maior variação em quase todos parâmetros, exceto para a taxa de desidratação na primeira fase (k1). Essa maior amplitude no intervalo de confiança possibilita afirmar que é uma cultivar que tem uma maior resistência à perda de água. O que pode explicar a maior resistência a desidratação nessa cultivar é seu menor comprimento de folha, associado a sua maior espessura de folhas (tabela 1). Isso geralmente resulta em menor área estomática e cutícula mais densa. O maior adensamento cuticular faz com que a planta tenha resistência à perda de água. Esta é uma estratégia que ajuda a planta resistir ao déficit hídrico, mas que dificulta no processo de desidratação. Assim, a resistência física e menores densidades estomáticas causam limitações na transpiração^[23,24]. A cultivar 780J é resultado de cruzamento entre *Urochloa* (*ruziziensis* e *brizantha*) que possuem distinção nas estruturas e hábitos de crescimento, o que interfere diretamente na deposição de frações fibrosas e na velocidade em que alcança o ponto de feno^[19,25].

Embora a forragem triturada (FT) tenha tido uma maior taxa de desidratação na fase rápida (k1), isso não resultou em maiores perdas de água acumulada ao final de cada etapa (PA1 e PA2, tabela 2). A possível justificativa para tal comportamento se dá pelo efeito de compactação que pode ter ocorrido no material processado, uma vez que menores partículas tendem a agregar mais facilmente e dificultar a aeração e perdas de água evaporativa. Embora a água tenha saído do interior da planta, ficou retida no centro da massa do saco de rafia, deixando-os mais pesados. Fato esse visto pelo tempo gasto para iniciar a perda de água (L) que foi muito superior no FT

(89 minutos) do que no FNT (42 minutos; tabela 2). A densidade no interior de leiras dificulta a circulação de ar, pois leiras mais pesadas e compactadas são mais difíceis de ter uma secagem uniforme^[7,8].

Dentre as cultivares, a Ruziziensis foi a que mais sofreu alterações na composição química-bromatológica do feno, quando submetido à trituração, nos quais houve aumento nos componentes FDN, CT, CNF e EE (Tabela 3), esse efeito é decorrente do efeito de concentração desses componentes com a perda de água, pois alguns componentes da planta como PB, FDN e lignina são representados em percentual e, caso não haja essa desidratação se torna difícil estimar a densidade real desses componentes na forragem. Isso ocorre porque a planta desidrata e perde alguns compostos solúveis. A parte fibrosa é extremamente estável e rígida, permanecendo como integrante da massa sólida residual da planta no processo de desidratação^[26,27]. No processo de desidratação, quando o teor de umidade está acima de 35% a planta continua a realizar a respiração celular e consumir carboidratos solúveis inicialmente, como os componentes principais não são afetados pela respiração da mesma forma que o CNF, as fibras e a proteína bruta acabam representando um percentual maior no peso total seco do material^[6].

Diante ao apresentado os resultados demonstraram que os CNF são rapidamente perdidos pela sua alta solubilidade e tempo de continuidade da respiração da planta, enquanto os carboidratos totais e a matéria orgânica sofrem perdas mais graduais, ligadas à degradação da fração fibrosa (Figuras de 1 a 3). Os CNF são utilizados na manutenção de vida residual da planta, assim, após o corte, eles são, primariamente, os mais afetados no processo de desidratação, por atuarem como substrato principal de metabólitos, sendo prioritariamente consumindo os açúcares solúveis e amido nos processos de respiração celular, desta forma mantendo os teores de CT e MO. Os CNF atuam como fonte energética primária até a forragem atingir níveis abaixo de 35 - 40% de umidade, momento no qual as plantas interrompem sua respiração^[6, 28, 29].

A proteína bruta apresentou perdas intensas, que podem ter ocorrido pela lixiviação de compostos nitrogenados solúveis, especialmente no híbrido Sabiá, que se mostrou mais vulnerável em quase todas as variáveis (Figura 4). Após o corte enquanto o metabolismo da planta continua ativo ocorre a proteólise inicial que faz com que haja degradação das proteínas complexas, transformando-as em compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos e amônia. Isto facilita a lixiviação da PB pela planta. Esses compostos resultantes da degradação são facilmente dissolvidos

em água e esta perda reduz o valor proteico do feno e afeta diretamente as proteínas digestíveis no intestino dos animais^[28,30,31]. Além disso, as maiores perdas de PB foram observadas na fase final da desidratação, como reflexo das perdas relacionadas à terceira fase da desidratação, que ocorre após a plasmólise da parede celular das células das plantas. Esta é a fase mais crítica da desidratação, na qual se concentra as maiores possibilidades de perdas por condições climáticas adversas, principalmente por lixiviação na ocorrência de chuvas.

O fato de triturar o material mostrou ser benéfico para redução das perdas nutricionais das forragens, durante o processo de secagem. A redução nas perdas de carboidratos solúveis, pode ser explicada em função da rápida interrupção das atividades metabólicas das plantas, devido à redução de vida das células vegetais. A redução nas perdas de proteína bruta foi favorecida pela rápida taxa de secagem, especialmente na fase estomática, e por não haver adversidades climáticas durante todo o período de produção dos fenos, de modo que reduziu a possibilidade de perdas por lixiviação deste nutriente. Assim, a qualidade do feno resulta da interação entre fatores fisiológicos (perfil químico das cultivares) e tecnológicos (manejo pós-corte). Operações mecânicas, como esmagamento ou processamento excessivo da forragem, são vistas como medida negativa, pelo fato de que tendem a aumentar o teor de fibra pela perda das folhas, mesmo com o favorecimento da desidratação^[32]. Os resultados apontam que triturar o material no início do processo de secagem ajuda a diminuir as perdas da PB e conservar os teores de CNF, mantendo o melhor valor nutricional dos fenos. Isto leva a menor necessidade de menor aporte complementar de energia quando do fornecimento aos animais, devido às melhorias na digestibilidade, redução do teor de fibra e melhor qualidade final do feno^[30,33]. Quando do processamento das forragens para a produção de feno, apesar deste favorecer a taxa de desidratação e reduzir as perdas de PB, CT e CNF, deve-se estar consciente que a trituração pode ocasionar perdas particulares de fragmentos foliares, de colmos e também folhas, de modo a afetar negativamente o rendimento da produção de feno e a qualidade bromatológica final do produto, este último, dada a concentração de maior parte dos nutrientes das plantas nas partículas de fácil desagregação^[34].

5. CONCLUSÃO

As diferenças morfológicas, entre as cultivares avaliadas, não são suficientemente discrepantes para influenciar na cinética de desidratação.

O processamento da forragem influencia diretamente na cinética da desidratação. Triturar as forragens reduz as perdas acumuladas de água e aumenta a taxa de desidratação na fase rápida, porém, provoca retardo no início do processo de perda de água nas forragens.

A composição químico-bromatológica dos fenos são variáveis em função das cultivares e seus aspectos morfológicos. O processo de trituração favorece, expressivamente, o aumento dos teores de EE, FDN e CT.

De maneira geral, triturar a forragem contribui para reduzir as perdas de CT, CNF e PB, durante a fase de desidratação do feno. Tal comportamento é melhor evidenciado nas cultivares Sabiá, Ruziziensis e Ipyporã.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Reis, R. A.; Moreira, A. L. **Conservação de forragem como estratégia para otimizar o manejo das pastagens**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1998. 27 p.
- [2] Echeverria, J.R. et al. Acúmulo de forragem e valor nutritivo do híbrido de *Urochloa* 'BRS RB331 Ipyporã' sob pastejo intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01655, 2020.
- [3] Camargo, F. C., et al. (2022). Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. *Ciência Rural*, 52(5), Article e20201074.
- [4] Costa, O. A. D., Ferreira, O. G. L., Silva, J. L. S., Fluck, A. C., Kröning, A. B., Oliveira, L. V., Coelho, R. A. T., & Brondani, W. C. (2018). Rendimento, composição estrutural e características nutritivas de cultivares de azevém utilizadas para fenação em solos de várzea. *Bioscience Journal*, 34(5), 1232–1241. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n5a2018-39515>
- [5] Zamudio, D., et al. (2024). Factors affecting nutrient losses in hay production. *Grass and Forage Science*, 79(4), 499–515.

- [6] Reis, R. A., & Rodrigues, L. R. A. (1998). Avaliação da qualidade dos fenos de gramíneas tropicais armazenados com diferentes níveis de umidade e tratados com amônia. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 21(5), 866–873.
- [7] Euclides, V. P. B., et al. (2018). Beef cattle performance in response to Ipyorã and Marandu brachiariagrass cultivars under rotational stocking management. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, Article e20180018.
- [8] Cândido, M. J. D., Cutrim Junior, J. A. A., Silva, R. G., & Aquino, R. M. S. (2008). *Técnicas de fenação para a produção de leite* [Trabalho apresentado]. 12º PECNORDESTE – Seminário Nordestino de Pecuária, Fortaleza, CE, Brasil. <https://www.researchgate.net/publication/242282912>
- [9] Azman, P. N. M. A., Shamsudin, R., Hashim, N., & Man, H. C. (2025). A review of mathematical models in unit operations of glutinous and non-glutinous rice processing. *Journal of Food Engineering*, 395, Article e112542. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112542>
- [10] Santos, A. L. P., Ferreira, T. A. E., Brito, C. C. R., Gomes-Silva, F., Moreira, G. R., Leite, L. A., Reis, R. B., & Pimentel, P. G. (2023). New bicompartmental model: An application for the production of gases using the in vitro technique. *Semina: Ciências Agrárias*, 44(5), 1733–1744. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n5p1733>
- [11] Adindu, M. P., & Williams, J. O. (2003). Effect of storage on dehydrated African breadfruit seeds (*Treculia africana* Decne). *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1–8.
- [12] AOAC International. (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (G. W. Latimer Jr., Ed., 22nd ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- [13] Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- [14] Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and

protein availability. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3562–3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562X>

[15] Schofield, P., Pitt, R. E., & Pell, A. N. (1994). Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. *Journal of Animal Science*, 72, 2980–2991.

[16] Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2023). *ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (português)* (R package versão 1.2.2).

[17] Lenth, R. V. (2023). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means* (R package versão 1.10.0). <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

[18] Wang, L., & Chang, C. (2024b). Stomatal improvement for crop stress resistance. *Journal of Experimental Botany*, 75(7), 1823–1833. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad477>

[19] Menezes, G. L., et al. (2022). *Urochloa ruziziensis* (Syn. *Brachiaria ruziziensis*). In D. G. Jayme et al. (Eds.), *Gramíneas forrageiras tropicais* (Cap. 17, pp. 315–327). Escola de Veterinária da UFMG. <https://vet.ufmg.br/editora-ufmg-lanca-livro-gramineas-forrageiras-tropicais/>

[20] Baumont, R., Aufrère, J., & Meschy, F. (2009). La valeur alimentaire des fourrages: Rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. *INRA Productions Animales*, 22(3), 249–260. <https://explore.lib.vt.edu/handle/10919/65301>

[21] Muniz, E. B., Mizubuti, I. Y., Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Ribeiro, E. L. A., Rocha Júnior, J. N., Capelari, M. G. M., & Brito, V. M. (2011). Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: Técnica de produção de gases. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(3), 1191–1200. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n3p1191>

[22] Ribeiro-Júnior, N. G., Fagundes, O. S., Benevenuti, A. S., Yamashita, O. M., Rossi, A. A. B., Carvalho, M. A. C., & Silva, I. V. (2017). Tropical forages: Morphoanatomy of plants grown in areas with the death of pasture syndrome. *Brazilian Journal of Biology*, 77(4), 753–761. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.05116>

- [23] Wang, L., & Chang, C. (2024a). Interplays of cuticle biosynthesis and stomatal development: From epidermal adaptation to crop improvement. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(47), 25449–25461. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c06232>
- [24] Wang, L., & Chang, C. (2024b). Stomatal improvement for crop stress resistance. *Journal of Experimental Botany*, 75(7), 1823–1833. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad477>
- [25] Fernandes, P. B., Paciullo, D. S. C., & Gomide, C. A. M. (2023). Estacionalidade da produção de forragem e seus impactos nos sistemas de produção animal. In *Anais do 10º Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem* (pp. 11–44). Suprema.
- [26] Teixeira, A. J., et al. (2019). Commercial and non-commercial pectinase and cellulase on the enzymatic hydrolysis efficacy of rice husk and Tifton 85 hay. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41, Article e45100. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.45100>
- [27] Pedrosa, C. E., et al. (2015). Yield and quality of wilted sweet potato vines and its silages. *Horticultura Brasileira*, 33(3), 283–289. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000300002>
- [28] Uijtewaal, A., Chapuis, S., Crocq, G., & Lépée, P. (2017). Quoi de neuf en matière de récolte et conservation des légumineuses fourragères? *Fourrages*, 230, 159–166.
- [29] Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(Supl. esp.), 101–119.
- [30] Leão, E. S., Torreão, J. N. C., Araújo, M. J., Bezerra, L. R., Marques, C. A. T., Ferreira, R. R., Nascimento, R. R., Leandro, B. S., & Edvan, R. L. (2017). Analysis of the potentiality haying of native forage species in semiarid region. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(5), 3319–3330.
- [31] Bayão, G. F. V., Edvan, R. L., Carneiro, M. S. S., Freitas, N. E., Pereira, E. S., Pacheco, W. F., Bezerra, L. R., & Araújo, M. J. (2016). Desidratação e composição química do feno de Leucena (*Leucaena leucocephala*) e Gliricídia (*Gliricidia sepium*). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(3), 365–375.

- [32] Tokarchuk, O., Mytko, M., Burlaka, S., Zozulyak, I., & Stadnik, M. (2025). Comparison of technological operations in processing alfaluffer hay in terms of their impact on forage quality and quantity. *Chemical Engineering: Food Production Technology*, 1(4), Article e326047. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326047>
- [33] Silveira, S. R., et al. (2016). Productivity and nutritional quality of Flechinha grass (*Echinolaena inflexa*), native grass of Brazilian Cerrado. *Ciência Rural*, 46(6), 1100–1106. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151213>
- [34] Shayakhmetova, A., Savenkova, I., Nasiyev, B., Akhmetov, M., Useinov, A., Taskulova, A., & Temirbulatova, A. (2023). Agrotechnology for feed cultivation and creation of hayfields and pastures in the forest and steppe zone of Northern Kazakhstan. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 55(4), 1245–1258. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.4.18>

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de modelagem matemática na forragicultura e pastagens ainda é um tema incipiente, apesar de já ser bastante aplicado em outras áreas agrônômicas. Isso demonstra o potencial de uso e as facilidades que a modelagem pode proporcionar no segmento, fato que se comprovou, neste experimento, com o uso dos modelos aplicáveis para avaliação e entendimento da cinética de desidratação.

A prática e estudos sobre a fenação de *Urochloas* têm sido retomadas nos últimos anos, isso se deve a melhor qualidade dos novos materiais forrageiros, fruto dos trabalhos de melhoramento genético, junto a necessidade de ampliação e novas possibilidades de uso dos novos recursos forrageiros, para integrar o planejamento alimentar dos rebanhos. Essa é uma abordagem que deve ser ampliada nos anos vindouros, pois, as *Urochloas* têm demonstrado excelente potencial para a fenação, unindo alta produtividade e estabilidade/previsibilidade de desidratação, que resulta em fenos com perdas reduzidas e boa preservação do valor nutricional.

Sugere-se que novos estudos sejam conduzidos, para explorar, detalhadamente, como cada característica morfológica, fisiológica e nutricionais das forragens influenciam nas perdas e qualidade final dos fenos, de modo a ter um entendimento mais aprofundado das fases de desidratação e ser possível trabalhar com maior previsibilidade da fenação, em função das características das plantas e das condições ambientais de secagem, seja a campo ou com uso de câmaras de secagem para fenos.

APÊNDICE A – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO DA REVISTA GRASS



Diretrizes para Autores

Anúncio - A publicação online da Grama e Forage Science de 2022

será publicada apenas online a partir do volume de 2022. Esta é uma medida proativa para reduzir o impacto ambiental causado pela produção e distribuição de cópias impressas de periódicos, permitindo que a revista invista em mais inovação, desenvolvimento digital e medidas de sustentabilidade. Os artigos publicados continuarão a ser disseminados rapidamente por meio da ampla rede de serviços de indexação do periódico, incluindo ISI, MEDLINE e Scopus. Os artigos também continuarão sendo descobertos por meio de mecanismos de busca populares como o Google. Todas as imagens coloridas agora serão reproduzidas digitalmente e publicadas gratuitamente.

Seções

1. Processo de Submissão e Revisão por Pares
2. Tipos de Artigos
3. Após a Aceitação
4. Apêndice

1. Processo de Submissão e Revisão por Pares

Uma vez que os materiais de submissão tenham sido preparados de acordo com as Diretrizes do Autor, os manuscritos devem ser enviados online em <https://submission.wiley.com/journal/GFS>

Para ajuda com submissões, por favor entre em contato: GFSeditorialoffice@wiley.com.

Este periódico não cobra taxas de submissão.

Suporte para a preparação de artigos

A Wiley Editing Services oferece ajuda especializada com edição em inglês, além de tradução, formatação de manuscritos, ilustração de figuras, formatação de figuras e design gráfico de resumos – para que você possa enviar seu manuscrito com confiança.

Além disso, confira nossos recursos para [Preparar Seu Artigo](#) para orientações gerais sobre como escrever e preparar seu manuscrito.

Acesso Aberto

Este periódico é por assinatura que oferece opção de acesso aberto. Você terá a opção de tornar seu artigo com acesso aberto após a aceitação, o que estará sujeito a um APC. Você pode [ler mais sobre APCs](#) e se pode ser elegível para isenções ou descontos, por meio da sua instituição, financiador ou isenção do país.

Política de pré-print:

Por favor, encontre a política de preprints da [Wiley aqui](#).

Este periódico aceita artigos previamente publicados em servidores de preprint.

A Grass and Forage Science considerará artigos de revisão previamente disponíveis como preprints. Você também pode postar a versão enviada de um manuscrito em um servidor de preprints a qualquer momento. Solicita-se que atualize quaisquer versões pré-publicação com um link para o artigo final publicado.

Compartilhamento de Dados e Disponibilidade de Dados

Este periódico incentiva e revisa por pares o compartilhamento de dados. Revise [a política de Compartilhamento de Dados da Wiley](#), onde você poderá ver e selecionar a declaração de disponibilidade de dados adequada para sua submissão.

Citação de Dados

Por favor, revise [a política de Citação de Dados da Wiley](#).

Proteção de Dados

Ao enviar um manuscrito para esta publicação ou revisá-lo, seu nome, endereço de e-mail, afiliação e outros dados de contato que a publicação possa exigir serão usados para as operações regulares da publicação. Por favor, consulte [a Política de Proteção de Dados da Wiley](#) para saber mais.

Financiamento

Você deve listar todas as fontes de financiamento na seção de Agradecimentos. Você é responsável pela precisão da designação de financiador deles. Em caso de dúvida, por favor, consulte o [Open Funder Registry](#) para encontrar a nomenclatura correta.

Autoria

Todos os autores listados devem ter contribuído substancialmente para o manuscrito e concordado com a versão final submetida. Revise [os padrões editoriais](#) e role para baixo para uma descrição dos critérios de autoria.

Divulgando o uso da inteligência artificial (IA)

Se você ou seus coautores usaram ferramentas de Conteúdo Gerado por Inteligência Artificial (AIGC), como o ChatGPT e outras baseadas em grandes modelos de linguagem (LLMs), para desenvolver qualquer parte de um manuscrito, seu uso deve ser descrito de forma transparente e detalhada na seção de Métodos.

Encontre mais detalhes na política de IA da Wiley na íntegra, nas [Diretrizes de Melhores Práticas sobre Integridade em Pesquisa e Ética em Publicação](#).

ORCID

Este diário exige ORCID. Por favor, consulte [os recursos da Wiley sobre ORCID](#).

Reprodução de Material de Direitos Autorais

Se trechos de obras protegidas por direitos autorais pertencentes a terceiros forem incluídos, o crédito deve ser mostrado na contribuição. É sua responsabilidade também obter permissão por escrito para reprodução junto aos detentores dos direitos autorais. Para mais informações, visite o [FAQ sobre Termos e Condições de Direitos Autorais da Wiley](#).

O autor correspondente é responsável por obter permissão por escrito para reproduzir o material "em mídia impressa e outras mídias" do editor da fonte original, e por fornecer essa permissão a Wiley na submissão.

Página de Título

A página de título deve conter:

- i. Um título breve e informativo contendo as principais palavras-chave. O título não deve conter abreviações ([veja as melhores práticas de SEO da Wiley](#));
- ii. Um título de curta duração com menos de 40 caracteres;
- iii. Os nomes completos dos autores;
- iv. As afiliações institucionais do autor onde a obra foi conduzida, com uma nota de rodapé para o endereço atual do autor, caso diferente do local onde a obra foi conduzida;
- v. Agradecimentos.

Arquivo de Texto Principal

O arquivo principal de texto deve estar no Word e incluir:

- Um título curto e informativo contendo as principais palavras-chave. O título não deve conter abreviações
- Os nomes completos dos autores com afiliações institucionais onde a obra foi realizada, com uma nota de rodapé para o endereço atual do autor, caso diferente do local onde a obra foi conduzida;
- Agradecimentos;
- Resumo ou no máximo 250 palavras.
- Até seis palavras-chave;
- Corpo principal: formatado como introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusão
- Declarações de Disponibilidade de Dados, Financiamento e Conflito de Interesse devem ser colocadas ao lado dos Agradecimentos antes da Seção de Referência.
- Para ensaios clínicos ou médicos em que o manuscrito trata de medições médicas dos resultados de dietas ou suplementos, são exigidas declarações de Aprovação Ética e Consentimento do Paciente.
- Referências;
- Tabelas (cada tabela completa com título e notas de rodapé);
- Legendas das figuras: As legendas devem ser fornecidas como uma lista completa no texto. As figuras devem ser enviadas como arquivos separados (veja abaixo).

Estilo de Referência

Esta revista utiliza o estilo de referência APA. Revise suas [diretrizes de estilo de referência](#) antes de enviar o envio.

Números e Informações de Apoio

Figuras, informações de apoio e apêndices devem ser fornecidos como arquivos separados. Você deve revisar os [requisitos básicos de figuras](#) para manuscritos para revisão por pares, assim como os requisitos mais detalhados de figuras pós-aceitação. Veja [as perguntas frequentes do Wiley](#) sobre informações de apoio.

Revisão por pares

Este periódico opera sob um [modelo de revisão por pares](#) simples-cega. Os artigos só serão enviados para revisão se o Editor-Chefe determinar que o artigo atende aos requisitos apropriados de qualidade e relevância.

Submissões internas, ou seja, artigos escritos por editores ou membros do Conselho Editorial do título, serão enviadas a editores não afiliados ao autor ou instituição e monitoradas cuidadosamente para garantir que não haja viés de revisão por pares.

A política da Wiley sobre a confidencialidade do processo de revisão está [disponível aqui](#).

Diretrizes sobre Ética em Publicação e Pesquisa em Artigos de Periódicos

O periódico exige que você inclua no manuscrito detalhes das aprovações do IRB, tratamento ético dos participantes de pesquisas em humanos e animais, e coleta de consentimento informado, conforme apropriado. Espera-se que você declare todos os conflitos de interesse, ou nenhum, na submissão. Por favor, revise as políticas da Wiley sobre [estudos em humanos](#), [estudos com animais](#), [registro de ensaios clínicos](#), [biossegurança e diretrizes de relatórios de pesquisas](#).

Este periódico segue as práticas centrais do [Comitê de Ética em Publicações \(COPE\)](#) e lida com casos de má conduta em pesquisa e publicação conforme (<https://publicationethics.org/core-practices>).

Este periódico utiliza o software CrossCheck da iThenticate para detectar casos de sobreposição e texto semelhante em manuscritos submetidos. Leia [as 10 principais dicas de ética editorial para autores da Wiley](#) e [as diretrizes de ética em publicação da Wiley](#).

2. Tipos de Artigos

Tipo de artigo	Descrição	Limite de Palavras	Resumo / Estrutura	Outros requisitos
Resenhas de Livros	Comissionado pelo Editor	Limite de 1000	Não	
Editorial	Comissionado pelo editor	Artigo breve para apresentar um volume, edição ou edição especial de	Não	