

UNIVERSIDADE ESTATUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS NA PRODUÇÃO E  
QUALIDADE DO FENO DE FORRAGEIRAS TROPICAIS E  
TEMPERADAS

Autor: Matheus Gonçalves Ribeiro  
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Fevereiro – 2019

UNIVERSIDADE ESTATUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS NA PRODUÇÃO E  
QUALIDADE DO FENO DE FORRAGEIRAS TROPICAIS E  
TEMPERADAS

Autor: Matheus Gonçalves Ribeiro  
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

“Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá – Área de concentração Produção Animal”

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Fevereiro – 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

R484e Ribeiro, Matheus Gonçalves  
Estratégias operacionais na produção e qualidade  
do feno de forrageiras tropicais e temperadas /  
Matheus Gonçalves Ribeiro. -- Maringá, 2019.  
81 f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de  
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia, 2019.

1. Forrageiras tropicais e temperadas - Feno -  
Armazenamento. 2. Forrageiras tropicais e temperadas  
- Feno - Produção. 3. Forrageiras tropicais e  
temperadas - Feno - Qualidade. 4. Forrageiras  
tropicais e temperadas - Feno - Secagem artificial.  
I. Jobim, Clóves Cabreira, orient. II. Universidade  
Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias.  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 21.ed.633.2

Elaine Cristina Soares Lira - CRB 1202/9



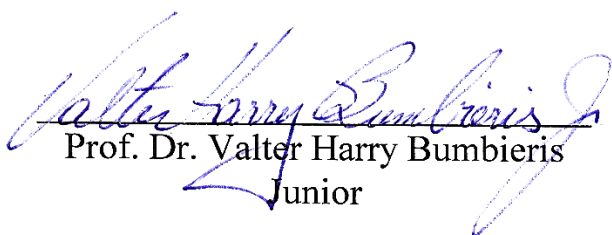
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ESTRATÉGIAS OPERACIONAIS NA PRODUÇÃO  
E QUALIDADE DO FENO DE FORRAGEIRAS  
TROPICAIS E TEMPERADAS

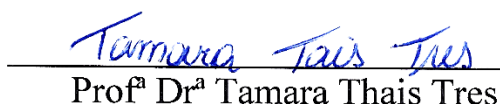
Autor: Matheus Gonçalves Ribeiro  
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

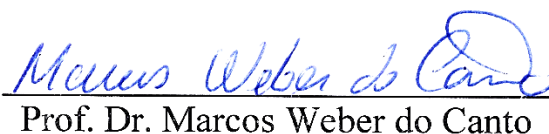
TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

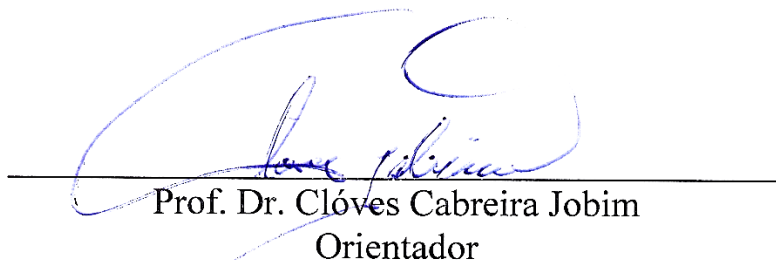
APROVADO em 28 de fevereiro de 2019.

  
Prof. Dr. Valter Harry Bumbieris  
Junior

  
Profª Drª Marcela Abbado Neres

  
Profª Drª Tamara Thais Tres

  
Prof. Dr. Marcos Weber do Canto

  
Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim  
Orientador

*Dar um passo na direção desejada já é chegar.*  
**Pe. Fábio de Melo**

Ao meu pai, **Edir Ribeiro da Silva** (*in memoriam*),  
Que com seu jeito de ser, mostrou-me os verdadeiros tesouros que devemos acumular,  
colocando nossos planos sempre nas mãos de DEUS.

À minha mãe, **Joana Dark Gonçalves Ribeiro**,  
um exemplo de garra e perseverança, ensinando-me que  
jamais devemos desistir de nossos sonhos.

À minha esposa, **Jéssica Soares Malta Ribeiro**,  
Que sempre segurou a barra me apoiando em meus objetivos e  
dando suporte em meus desafios.

À minha filha, **Marina Malta Ribeiro**,  
minha injeção de ânimo nos momentos de tristeza e em que me sinto fraco.

Ao meu irmão, **Lucas Gonçalves Ribeiro**,  
Por me ensinar, com suas teimosias e “bolragem”, a ser o pai que sou hoje.

Aos meus bens mais preciosos,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, pelo dom da vida a cada amanhecer, por tudo o que aconteceu e acontecerá ao longo de minha jornada terrena.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade da realização do doutoramento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos durante o período de doutoramento no Brasil e no exterior (Programa de Doutorado Sandwish no Exterior – PDSE, processo n. 88881.134948/2016-01).

Ao Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Lusignan – França, pela receptividade e pela experiência inenarrável a mim proporcionada.

Ao professor Clóves Cabreira Jobim, não apenas pela orientação no doutoramento, mas também pela confiança, incentivo e, principalmente pela amizade presente em momentos tristes e alegres.

Ao professor João Luiz Pratti Daniel, pela amizade, paciência e colaborações que muito me auxiliaram nos momentos de “aperto” durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. François Gastal e ao Dr. Jean-Claude Emile, pela amizade, recepção, paciência e ensinamentos durante o estágio no exterior.

Ao Eng. Hugues Caillat, responsável da unidade PATUCHEV/INRA, pela receptividade, pelo auxílio durante o período de instalação pós-chegada, pelo suporte no desenvolvimento experimental, e amizade.

Ao Grupo de Estudo em Silagem e Feno (GESF), em especial aos integrantes Antônio Bueno, Fernando Jacovaci, Dheyme Bolson, Kácia Scheidth, José Saute, Viviane Gritt, Mábio Silva, Tamara Tres, Guilherme Leão, Bruno Campos e todos os alunos de iniciação científica que fizeram parte

A todos os professores do PPZ, pela contribuição direta ou indireta em minha formação acadêmica.

Aos técnicos do laboratório de nutrição animal (LANA/DZO), pelo auxílio durante o período de realização de análises e, pelas conversas e momentos de descontração.

Aos colaboradores da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI/UEM), pela convivência e contribuição durante os desenvolvimentos experimentais.

Aos amigos da “velha guarda”, Diego Cordeiro, Thiago Trento, Ubiara Henrique, Hanner Karim, Camila Fernandes, Fabrício Araújo e todos os colegas e amigos da Pós.



## BIOGRAFIA DO AUTOR

Matheus Gonçalves Ribeiro, filho de Edir Ribeiro da Silva e Joana Dark Gonçalves Ribeiro. Nascido em 20 de agosto de 1990 na cidade de Rio Verde, Goiás.

No dia 18 de fevereiro de 2008 ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia pela Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, concluindo o mesmo perante colação de grau no dia 01 de agosto de 2012.

Ainda no mês corrente, no dia 20 de agosto de 2012, iniciou suas atividades no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) Campus Rio Verde, concentrando as atividades na área de Forragicultura e Pastagens. Em 18 de junho de 2014 submeteu sua dissertação à banca examinadora, obtendo o título de Mestre em Zootecnia.

Entre os meses de agosto de 2014 e fevereiro de 2015 foi bolsista de apoio técnico do CNPq sob supervisão do Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim.

Em março de 2015, ingressou como discente no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, sob orientação do Prof. Jobim, realizando seus estudos na área de Forragicultura e Pastagens.

Durante o período de doutoramento, realizou estagio pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE/CAPES junto ao Institut National de la Recherche Agronomique (INRA - França) entre março de 2017 e fevereiro de 2018, desenvolvendo protocolos experimentais e demais atividades de pesquisa.

Em 12 de dezembro de 2018 submeteu-se ao exame geral de qualificação e, em 28 de fevereiro de 2019 submeteu-se à defesa de Tese perante a banca de avaliação.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
I - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1. Tecnologias de fenação: um breve histórico.....	3
2. Estratégias para cura e secagem da forragem a campo.....	6
3. Sistemas de secagem artificial .....	6
4. Efeito do horário de corte sobre valor nutricional de forragens conservadas.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	11
III - OBJETIVOS GERAIS .....	17
IV - EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NAS PERDAS E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS PRODUZIDOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE SECAGEM.....	18
Resumo .....	18
Abstract.....	19
Introdução.....	19

Material e Métodos.....	21
Resultados.....	28
Discussão.....	30
Referências Bibliográficas.....	34
Tabelas.....	37
V - IMPACTO DO HORÁRIO DE CORTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE GRAMA-ESTRELA AFRICANA.....	45
Resumo.....	45
Abstract.....	46
Introdução.....	46
Material e Métodos.....	48
Resultados.....	51
Discussões.....	53
Conclusões.....	56
Referências Bibliográficas.....	57
Tabelas e Figuras.....	61

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>IV - EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NAS PERDAS E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS PRODUZIDOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE SECAGEM</b>	
Tabela 1. Estatística de calibração do NIRS para matéria mineral, fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), lignina em detergente ácido (LDA), proteína bruta (PB), carboidratos solúveis em água (CSA) e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS).....	37
Tabela 2. Composição botânica e nutricional dos relvados no momento dos cortes e características ambientais durante o período de emurchecimento (n, 85).....	38
Tabela 3. Composição nutritiva da forragem emurchecida a campo (n, 78).....	39
Tabela 4. Características do ambiente durante o período de secagem (n, 255).....	40
Tabela 5. Composição químico-bromatológica de fenos desidratados em diferentes estratégias de secagem (n, 105). ....	41
Tabela 6. Parâmetros da degradabilidade <i>in situ</i> da MS de fenos desidratados em diferentes estratégias de secagem.....	42
Tabela 7. Perdas não mecânicas de MS e demais componentes durante a etapa de emurchecimento no campo, dados expressos em g kg <sup>-1</sup> (n, 20).....	43
Tabela 8. Perdas na secagem e totais (emurchecimento + secagem) mensuradas durante a secagem em diferentes estratégias, dados expressos em g kg <sup>-1</sup> (n, 78).....	44

## V - IMPACTO DO HORÁRIO DE CORTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE GRAMA-ESTRELA AFRICANA

Tabela 1. Valor nutricional da forragem no momento dos cortes (n,10) 61

Tabela 2. Composição nutricional ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) dos fenos de grama-estrela africana ceifados às 13h e 17h horas ao longo do período de armazenamento (n, 30) 62

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>I - INTRODUÇÃO GERAL</b>	
Figura 1. Equipamentos utilizados para a colheita e manuseio de forragem até meados do século XIX (alfanje, garfo e rastelo). .....	4
Figura 2. Implementos por tração animal para realização do corte (segadora – A), revolvimento (ancinho revolvedor – B) e enleiramento (ancinho amontoador – C).....	5
<b>V - IMPACTO DO HORÁRIO DE CORTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE GRAMA-ESTRELA AFRICANA</b>	
Figura 1. Dados meteorológicos do período experimental. Precipitação (mm), Temperaturas máximas e mínimas (°C) e, Umidade relativa do ar (%). .....	63
Figura2. Curva real do comportamento de desidratação de plantas (A) de grama estrela africana e das frações folha (B) e colmo (C), ceifadas às 13h (H13) ou às 17h (H17). Linha pontilhada demarcando ponto de “morte” da planta (400 g kg <sup>-1</sup> MS).....	64
Figura 3. Taxa de desidratação utilizada para determinar os valores da taxa fracional de desidratação ( <i>k</i> ) para: A, planta inteira (n, 40); B, folha (n, 40) e; C, colmo (n, 40). .....	65

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar técnicas aplicadas para a produção de feno. Apesar de terem sido realizados em realidades diferentes, o foco de ambos os experimentos foi semelhante: buscar tecnologias visando obter fenos com bom valor nutricional causando menores impactos ambientais. A princípio realizou-se breve levantamento de tecnologias aplicadas à fenação, bem como os avanços ao longo do século XX. O primeiro ensaio experimental teve como objetivo avaliar diferentes estratégias de desidratação sobre o valor nutricional de fenos e, as perdas ocasionadas durante a secagem. Os tratamentos foram feno desidratado a campo (apenas corte) e em galpão com dois tamanhos de partícula (curto – 85 mm; e longo - 170 mm). O período de desidratação dos fenos foi dividido em emurchecimento e de secagem. Na secagem artificial foi utilizado um galpão para desidratação com sistema de aquecimento do ar por energia solar. Foram observados o efeito do tratamento sobre a composição nutricional e o impacto nas perdas. As perdas foram divididas em perdas no emurchecimento (igual para todos os tratamentos), na secagem (após a aplicação dos tratamentos) e a soma das duas (perdas totais). Na avaliação de perdas foram utilizados sacos de nylon (*screen bag*) preenchidos com forragem, os quais foram depositados no local de desidratação de cada tratamento. O feno seco a campo diferiu significativamente dos tratamentos desidratados em secador, apresentando menores valores de matéria seca (MS), carboidratos solúveis em água (CSA) e digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS), e concentração de proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM) e lignina (LDA). Sobre os tamanhos de partícula, notou-se que o feno seco em partícula curta apresentou maiores concentrações de MS e matéria orgânica (MO), diferindo estatisticamente do material seco em partícula longa. Na avaliação de perdas

quantitativas durante a secagem, foi constatado que o feno seco no campo apresentou perdas superior, em comparação com os demais tratamentos, apenas de CSA e de matéria seca digestível ( $MS_{DIV}$ ). No tamanho de partícula de 85 mm ocorreram maiores perdas na secagem de MS, MO, matéria mineral (MM) e  $MS_{DIV}$  em comparação ao feno com 170mm. A redução do tamanho de partícula pela metade acarretou em incremento sobre as perdas durante o período total. Assim a secagem artificial resultou em menores alterações no valor nutricional em comparação a secagem a campo. Ao observar as perdas, constatou-se que não seria recomendável reduzir o tamanho de partícula abaixo de 170mm. Na segunda experimentação, objetivou-se avaliar o efeito do horário de corte sobre a composição nutricional de *Cynodon* spp. no momento do corte, no enfardamento e ao longo do armazenamento. Também foi avaliado o comportamento de secagem da forragem ceifada e dos componentes folha e colmo. Os horários de corte foram às 13h (H13) e às 17h (H17). Outro fator avaliado foram as alterações no valor nutricional durante 30, 60, 90 e 120 dias de armazenamento. No momento do corte notou-se que a forragem ceifada às 17h apresentou maiores concentrações de carboidratos solúveis em etanol (CSE), diferindo do H13. Ao avaliar as taxas de desidratação, apenas a fração folha diferiu entre os tratamentos. Na avaliação do feno no decorrer do período de armazenamento, no fator horário de corte, não houve diferença significativa sobre o valor nutricional dos fenos. O mesmo ocorreu na interação horário de corte e armazenamento (C\*A). No decorrer do armazenamento, ao comparar os resultados por contrastes ortogonais, observou-se efeito quadrático para MS, FDN, FDA, compostos solúveis em detergente neutro (SDN), carboidratos não fibrosos (CNF) e comportamento linear para CSE. Levando em consideração os resultados do presente trabalho conclui-se que, mesmo havendo o acúmulo de CSE, o corte ao final do dia não apresenta grandes impactos sobre o valor nutricional do feno e que, mesmo acondicionado de forma adequada, ocorre a depleção de compostos digestíveis ao longo do armazenamento.

**Palavras-chave:** armazenamento, fenação, horário de corte, perdas, secagem artificial,



## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate applied techniques to hay production. Although they were carried out in different realities, the focus of both experiments was the same: to bring technologies to obtain hay with good nutritional value causing lower environmental impacts. First of all, a brief survey of applied haymaking technologies, as well as the advances throughout the XX century were done. The first trial had as objective to evaluate different dehydration strategy on the hay nutritional value and losses caused during drying. The treatments were the field-dried (just cut) and barn-dried hay with two particle sizes (short – 85 mm; and long – 170 mm). The hay dehydration period was divided into wilting and drying. In artificial drying was used a barn with solar air heating system. The treatment effect on nutritional composition and impact on losses were observed. The losses were divided in wilting losses (equal to all treatments), drying (after treatments application) and the sum of the two (total losses). In losses' evaluation, nylon screen bags filled with herbage were used, which were deposited at the dehydration site of each treatment. Field-dried hay differed significantly from the barn-dried hay, presenting lowest concentrations of dry matter (DM), water soluble carbohydrates (WSC), in vitro DM digestibility (IVDMD) and, crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (HEM) and lignin (ADL) concentrations. Regarding particle sizes, it was observed that short-hay presented higher DM and organic matter (OM) concentrations, differing statistically from the long-hay. In the quantitative losses evaluation during drying, it was observed that field-hay had higher losses of WSC and digestible dry matter (ivdDM). In the short-hay larger losses were observed in the drying of DM, OM, ash and ivdDM compared to long-hay. The particle size reduction in half led to higher losses during the whole period. Thus, the barn-drying resulted in smaller

changes in nutritional value compared to field drying. When observing the losses, it was observed that it would not be advisable to reduce the particle size below 170mm. In the second experiment, the aim was to evaluate the cutting time effect on the *Cynodon spp.* nutritional composition at the mowing, baling and throughout the storage moments. The drying behavior of harvested whole plant, and the components leaf and stem were also evaluated. The cutting times were at 1300 (H13) and at 1700 (H17). Another factor evaluated were changes in nutritional value during 30, 60, 90 and 120 days of storage. At the time of the mow, it was observed that forage harvested at 1700 had higher concentrations of ethanol soluble carbohydrates (ESC), differing from H13. When evaluating the dehydration rates, only the leaf fraction differed between treatments. In the hay evaluation during the storage period, in the mow factor, there was no significant difference in the hay nutritional value. The same occurred in the mow and storage time interaction. In the storage, when comparing the results by orthogonal contrasts, a quadratic effect was observed for DM, NDF, ADF, neutral detergent soluble (NDS), non-fibrous carbohydrate (NFC) and linear effect for ESC. Considering the results of the present study, it is concluded that, even with the ESC accumulation, the mow at the end of the day does not present major impacts on the hay nutritional value and, even adequately conditioned, depletion of compounds occurs during the storage.

**Key-words:** storage, haymaking, time of cutting, losses, artificial drying

## I - INTRODUÇÃO GERAL

Sistemas eficazes de produção de alimentos, com foco em alta eficiência energética dos processos e menor impacto sobre a qualidade, têm se tornado o principal alvo dentro da demanda global na busca pela sustentabilidade. Isto ocorre pelo grande potencial mitigador que a agropecuária representa, frente às mudanças climáticas e a segurança alimentar mundial.

No cenário atual, sistemas produtivos com intensificação dos processos de produção e uso de recursos locais (material genético, alimentos, condições climáticas, entre outros) têm se destacado majoritariamente pelo elevado rendimento econômico.

Sistemas intensivos de produção animal tendem a utilizar maiores quantidades de alimentos concentrados na dieta, estratégia que pode vir a alterar a composição de alguns produtos finais, como por exemplo leite e seus derivados (Sutton, 1989; Goetsch *et al.*, 2011), bem como os custos de produção.

Em sistemas de produção de leite a pasto, a alimentação de vacas em produção representa cerca de 40% a 60% dos custos (Matos, 2002), sendo o pastejo ainda a forma de alimentação com menor custo de operação em sistemas de produção de ruminantes. Entretanto, o pastejo de forragens de qualidade no decorrer do ano ocorre de forma desuniforme (Azevedo *et al.*, 2014), em função da sazonalidade de produção dos pastos.

Perante este entrave, faz-se necessário a utilização de forragens conservadas, tanto em países tropicais quanto em países de clima temperado. Em países de clima tropical, o excesso de material produzido no verão pode ser conservado e distribuído em períodos de escassez. O oposto se dá em países de clima temperado, onde o inverno mais rigoroso traz a necessidade da estabulação dos animais, mesmo em propriedades que visam produção animal a pasto entre a primavera e o outono.

A conservação pela fenação tem como princípio o armazenamento da forragem desidratada, com valor nutricional mais próximo possível ao material de origem. Porém, a qualidade do feno associa-se as características da planta que será conservada, as condições climáticas durante a secagem e às condições de armazenamento (Calixto Junior *et al.*, 2012).

O principal fator relacionado as perdas quantitativas e qualitativas no feno é o sistema de desidratação e o manejo da massa forrageira durante a fase secagem. O tempo de desidratação é fator importante no processo, pois durante grande parte desta fase ocorre o consumo de compostos solúveis (carboidratos, compostos nitrogenados e minerais), tanto pela planta quanto pela microflora epifítica, concentrando componentes fibrosos e assim reduzindo o valor nutricional da forragem no final do processo de conservação (Rotz & Muck, 1994).

Em processos de desidratação a campo, a forragem ceifada absorve umidade durante a noite, prolongando o período de desidratação e com isso reduzindo a qualidade do material final (Rotz, 1995a). Uma forma de reduzir as perdas de carboidratos não estruturais (CNE), durante o processo de fenação, seria a desidratação artificial da forragem com uso de instalações projetadas para acelerar o processo de secagem. Nesses sistemas a massa de forragem com umidade próximo a 85% pode chegar a 15% em aproximadamente 12 horas (Arinze *et al.*, 1993).

Existem inúmeros tipos e modelos de secadores artificiais, podendo-se destacar sistemas que utilizam fontes de energia limpa que não causam impactos ambientais. Uma das formas de secagem artificial se dá pelo uso de secadores com sistema de captação de energia solar (Ekechukwu & Norton, 1999).

Além do manejo correto na condução da cultura, corte no momento em que a planta apresente boa relação entre valor nutricional e produtividade, outra estratégia que pode melhorar o valor nutricional da cultura a ser conservada é a realização do corte ao final do período luminoso (Holt & Hilst, 1969; Lechtenburg *et al.*, 1972; Knapp *et al.*, 1973; De Oliveira *et al.*, 2018). Segundo Orloff (2013) plantas ceifadas no final da tarde podem resultar em um feno com menor concentração de fibra e maiores concentrações de energia, devido ao acúmulo de CNE pela planta no decorrer do dia, por meio da fotossíntese.

Informações sobre os melhores horários de corte para forragens destinadas a produção de fenos de alta qualidade ainda são escassas para regiões de clima tropical, como o Brasil. Práticas para acelerar a desidratação de forragens em secadores foram

exploradas para leguminosas, gramíneas e plantas consorciadas (Shepherd *et al.*, 1954; Spencer *et al.*, 1989; Resch *et al.*, 2014), contudo necessita-se ainda de mais informações em relação ao uso de secadores com sistema de aquecimento por energia solar.

## II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. Tecnologias de fenação: um breve histórico

Desde a antiguidade a maneira mais econômica, constante e natural de se recolher forragem é através do pastejo pelos animais, porém para ser praticado o ano todo era necessário deslocar o rebanho em busca de alimento durante os períodos de inverno e/ou seca. Com a agregação da cultura da pecuária, bem como a evolução na forma de criação dos animais, fez-se necessário o uso de reservas forrageiras. Até a segunda metade do século XIX, a fenação era a forma mais comum de se conservar forragem, sendo um trabalho árduo que demandava volume de mão de obra, pois deveria ceifar o máximo de forragem possível para aproveitar o bom tempo (Béranger, 1998).

A princípio, as operações de corte, revolvimento e enleiramento eram feitas manualmente (Fasoli & Ohlman, 1854) com o uso de alfanjes, garfos e rastelos (Figura 1). Por volta de 1850 têm-se o relato dos primeiros implementos movidos por tração animal (Chevalier, 1858), como demonstrado na Figura 2.

O primeiro implemento para fenação desenvolvido e registrado data do início do século XIX, uma prensa para feno e algodão, com a patente documentada em 1811 nos Estados Unidos (Burke, 1847). Apesar do registro da primeira patente, a comercialização de prensas iniciaram apenas em 1835 (Piper *et al.*, 1924).

A mecanização para a atividade de fenação, seja por tração animal ou a vapor, teve considerável avanço até o final do século XIX, mas foi no século XX que ocorreu uma revolução da engenharia agrícola nesse campo (Dieffenbach & Gray, 1960; Binswanger, 1986).

Como relatado anteriormente, o desenvolvimento expressivo de maquinários para produção de feno ocorreu nos EUA, onde o principal objetivo era ceifar e espalhar o máximo de forragem possível em um dia para minimizar efeitos negativos do tempo. Um

fator geoeconômico e histórico, intrinsecamente relacionado a busca de equipamentos eficientes, era a expansão das fronteiras agrícolas e a extensão territorial do país (Piper *et al.*, 1924).

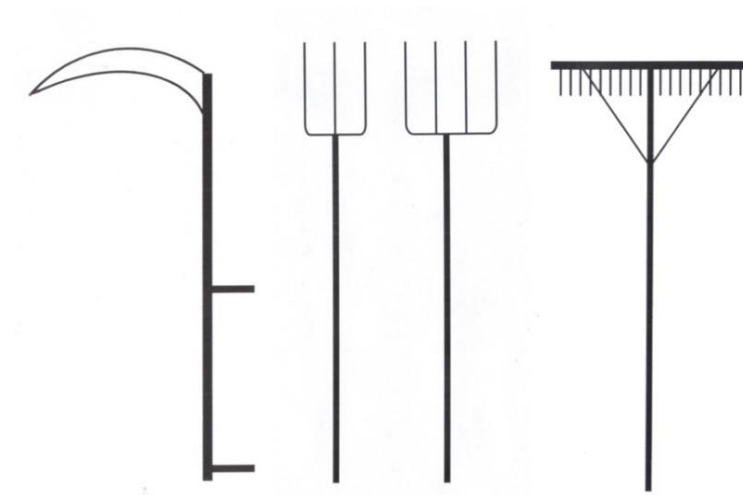


Figura 1. Equipamentos utilizados para a colheita e manuseio de forragem até meados do século XIX (alfanje, garfo e rastelo).

Fonte: Boller (2012).

Grande parte do feno produzido nos EUA era armazenado em galpões e uma das recomendações era, que ocorresse a fermentação das pilhas de forragem (a campo ou no celeiro) para melhorar o aroma do feno e torná-lo mais palatável (McClure, 1918). No entanto existiam alguns problemas no decorrer desta etapa, como a ocorrência de combustão espontânea (Browne, 1929). Assim, fez-se necessário compreender como acontecia esta adversidade e quais fatores interagiam para que ela se desdobrasse (Hoffman, 1935).

Alternativas para reduzir o tempo de secagem a campo começaram a ser testados, como secagem à sombra sobre estrados, instalação de sistemas para a passagem de ar pela meda, uso de secadores rotativos e por fim, o uso de ventilação forçada (Shepherd *et al.*, 1954). Nesta última técnica, a forragem era recolhida antecipadamente, reduzindo o risco da ocorrência de chuvas e conservando a coloração verde do material (Weaver Jr & Wylie, 1939; Barger & Shedd, 1946).

Com a evolução dos maquinários e técnicas na conservação de forragens, questionamentos foram surgindo e direcionados para as instituições de pesquisa e ensino, as quais foram realizando estudos, gerando informações, aprimorando técnicas,

descrevendo gargalos e demonstrando os impactos econômicos das novas tecnologias (Marx & Birkhead, 1951; Wilkinson, 1981; Rees, 1982; Macdonald & Clark, 1987).

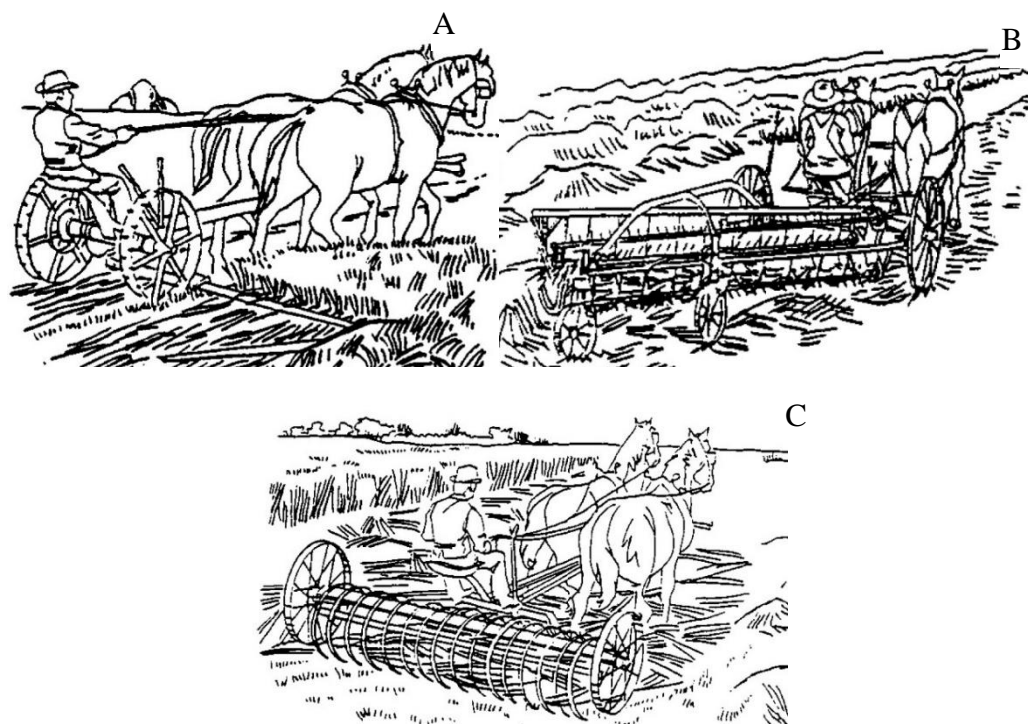


Figura 2. Implementos por tração animal para realização do corte (segadora – A), revolvimento (ancinho revolvedor – B) e enleiramento (ancinho amontoador – C).  
 Fonte: Horrocks & Valentine (1999)

Os primeiros ensaios desenvolvidos foram para avaliar qual o momento apropriado para ceifar a forragem, visando melhor valor nutricional (Watson *et al.*, 1937; Brown & Robinson, 1952), e como uso de forrageiras cultivadas poderiam agregar na qualidade do feno (Ferguson & Watson, 1944). Qual a melhor forma de armazenar o feno nos celeiros (Woodward & Shepherd, 1936; Monroe *et al.*, 1946) e quais fatores influenciariam no desenvolvimento microbiano ao longo do armazenamento também foram o alvo das primeiras pesquisas (Snow *et al.*, 1944; Waite, 1949).

Ao constatar a ocorrência do aquecimento da massa e a geração de CO<sub>2</sub> (Hoffman, 1935), buscou-se compreender qual o comportamento fisiológico da planta durante o período de emurchecimento, bem como quais fatores estavam correlacionados com o desaparecimento de compostos solúveis (Greenhill, 1959; Melvin & Simpson, 1963; Wilkinson & Hall, 1966; Clark *et al.*, 1977; Jones, 1979).

A partir dos resultados obtidos e as experiências de campo, uma outra vertente surgiu considerando o labor, custo operacional e como adequar ou criar implementos que

apresentassem bom rendimento operacional, produtivo e qualitativo (Klinner & Shepperson, 1975; Robertson, 1983).

## 2. Estratégias para cura e secagem da forragem a campo

Apesar do número de maquinários criados e produzidos nos EUA, os estudos iniciais avaliando estratégias aplicáveis à prática de secagem e cura no campo foram desenvolvidos na Europa (Watson *et al.*, 1937; Glasbey, 1988).

Inicialmente, por fatores climático, pesquisadores testaram elevar a forragem do solo com o uso de suportes (tripés) e observaram que elevando a forragem do solo era uma técnica eficiente quando as condições climáticas não favoreciam a secagem (Murdoch *et al.*, 1959).

Como esta técnica não apresentava grande eficácia na redução de perdas e, principalmente não demonstrou redução no tempo de secagem a campo (Brown & Robinson, 1952), combinações de implementos e operações ganharam considerável foco.

Dentre as tecnologias que foram amplamente testadas no Reino Unido (Klinner & Shepperson, 1975), algumas apresentaram aplicabilidade prática, como o uso de colhedores de forragem com sistema de picagem de palha e silagem (Murdoch & Bare, 1960), sistemas de condicionamento com ação por rolos de aço fresados e de borracha (Shepperson & Grundey, 1962; Murdoch & Bare, 1963), condicionadores de plástico (Klinner & Hale, 1984), ancinhos (Rice, 1966), segadoras-condicionadoras (Klinner, 1975) e o uso de secagem em galpões (Culpin, 1962).

Mais recentemente, esforços foram empregados no desenvolvimento e aperfeiçoamento de sistemas de condicionamento intensivos, denominados maceradores (Descôteaux & Savoie, 2002; Morissette & Savoie, 2012). Outros ensaios testando maquinários foram realizados, porém com o intuito de gerar informações para o desenvolvimento de modelos matemáticos que possam estimar as perdas durante os processos de conservação (Savoie *et al.*, 1982; Rotz & Abrams, 1988; Savoie, 1988; Rotz, 1995b; Savoie *et al.*, 2002)

## 3. Sistemas de secagem artificial

Uma técnica bastante explorada nos EUA e que logo chegou à Europa, a secagem em celeiros teve boa aceitabilidade em regiões onde as condições climáticas não



favoreciam a produção de fenos (Carter, 1960; Jouin, 1961; Kerr & Brown, 1965). Em um *overview* sobre as tecnologias desenvolvidas para fenação, Klinner & Shepperson (1975) citam que alguns cuidados deveriam ser tomados no desenvolvimento de práticas para acelerar a secagem, principalmente quando feito o uso de secagem artificial.

Como era relacionado o tempo de secagem com perdas de qualidade, em 1910 começaram a ser desenvolvidos desidratadores de feno. Weaver Jr & Wylie (1939) descrevem como estrutura em forma de tambor (aquecida ou não), em que a forragem úmida perdia água passando no interior desta, por meio de esteiras ou fluxo de ar quente. Estes autores comentam que se tratava de um equipamento comum, com alto custo de aquisição e manutenção, sendo destinados as fazendas com produção em larga escala.

Avaliando diferentes estratégias na produção de fenos de alfafa para vacas leiteiras, Shepherd *et al.* (1954) observaram que utilizando desidratador (temperatura de secagem:  $537 \pm 157^{\circ}\text{C}$  entrada,  $132 \pm 23^{\circ}\text{C}$  saída) houve redução na porcentagem de proteína digestível (queda de 14,7%). No mesmo trabalho foram testados a secagem a campo, em celeiros com sistema de ventilação e silagem emurchecida, concluindo os autores que o desidratador aumentou a mão de obra e custos, além da menor produção de leite em comparação aos demais tratamentos.

Com o intuito de avaliar o impacto da temperatura de desidratação, (Bratzler *et al.*, 1960) testaram temperaturas variando entre 110 e 200°F (43,3 a 93,3°C) na secagem de alfafa, e estes observaram que ao desidratar em temperaturas acima de 93,3°C houve redução significativa na digestibilidade da PB e da MS, quando comparado com o feno seco a 57,2°C e 73,9°C.

Celeiros com sistema de ventilação para secagem, a princípio, foram desenvolvidos visando o armazenamento de forragens “a granel”, em que na maioria das vezes utilizava implementos desenvolvidos para ensilagem para recolher o material a campo, frente ao trabalho desgastante no armazenamento manual (Culpin, 1962).

Uma vez que as condições climáticas eram favoráveis, a cura parcial do feno a campo juntamente com o enfardamento antecipado tornou-se uma ferramenta a mais para produtores, principalmente os que visavam o corte antecipado para produção de forragem de melhor qualidade (Kerr *et al.*, 1963). Um outro fator que impulsionou esta técnica foi o rápido desenvolvimento das enfardadoras (King *et al.*, 1950).

Redução de custos e aplicabilidade são fatores a serem considerados na construção de uma instalação (Weaver Jr & Wylie, 1939). Assim, a busca de alternativas que

melhorassem a capacidade de secagem da forragem sem elevar os custos foi o desafio seguinte no uso de galpões para secagem (Arinze *et al.*, 1993).

Uma das opções foi buscar sistemas de captação de energia solar para aquecimentos do ar (Wyss *et al.*, 2011). Com a flutuação no preço de combustíveis fósseis, bem como o impacto ambiental da queima destes, a energia solar apresentou grande potencial de uso no setor agrícola (Fudholi *et al.*, 2010).

Os galpões com sistema de aquecimento do ar por energia solar são caracterizados de acordo com o modo em que o ar passa pela massa de forragem (ativo ou passivo) e a forma que é interceptada a radiação solar para o aquecimento do ar (Ekechukwu & Norton, 1999).

Apesar de, secadores com sistema de aquecimento solar apresentarem ainda o custo com eletricidade, Wyss *et al.* (2011) argumentam que ainda são mais econômicos e estes apresentam melhor capacidade de remoção de água da forragem, em comparação ao uso de ar ambiente. Os autores também apontam que, uma outra forma de aumentar a economia seria a instalação de placas solares para conversão em energia elétrica.

Assim como o uso da energia solar para elevar a temperatura do ar durante o período de desidratação em galpão, Resch *et al.* (2014) descreveu que o uso de equipamentos para a remoção da umidade do ar (desumidificadores) impactou positivamente sobre as concentrações de proteína bruta (PB), digestibilidade da matéria orgânica (MO) e Energia bruta (EB), contudo não diferiu do tratamento com ar frio.

Mesmo utilizando ferramentas que aceleram a secagem sem causar elevadas perdas por processos fisiológicos e desenvolvimento microbiano, para se obter um feno com bom valor nutricional necessita de forrageiras de elevada qualidade, sendo outra forma de aproveitar a radiação solar é por meio da fotossíntese (Yari *et al.*, 2014), com estratégias de colheita da forragem.

#### 4. Efeito do horário de corte sobre valor nutricional de forragens conservadas

Devido a capacidade de assimilação do CO<sub>2</sub> atmosférico e água para a formação de carboidratos durante a exposição luminosa diária, observa-se flutuação nos componentes digestíveis em uma planta em crescimento (Curtis, 1944).

Um outro fator a ser observado no acúmulo de carboidratos solúveis ao longo do dia é a espécie forrageira. Holt & Hilst (1969) notaram que em plantas de alfafa (*Medicago sativa* L.) não houve aumento linear nas concentrações de carboidrato

solúveis, enquanto as gramíneas (*Poa pratensis*, *Bromus inermis* e *Festuca arundinacea*) apresentaram aumento linear.

Estudo semelhante foi conduzido por Pelletier *et al.* (2010), os quais avaliaram seis gramíneas (*Schedonorus phoenix* (Scop.) Holub, *Phalaris arundinacea* L., *Bromus inermis*, *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *B. biebersteinii* Roemer & J.A. Schultes) e duas leguminosas (alfafa, trevo vermelho – *Trifolium pratense* L.). Os autores constataram que para todas as espécies houve incremento nas concentrações de carboidratos não estruturais, pequena redução nos valores de nitrogênio, fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), bem como leve aumento sobre a digestibilidade *in vitro* verdadeira.

Uma vez que a molécula de CO<sub>2</sub> é transportada ao interior das células do mesófilo, esta se ligará a enzima Ribulose bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) para então ser convertida em uma triose P (Taiz *et al.*, 2015). Contudo, a Rubisco possui a temperatura ótima para que ocorra a fixação de carbono. Este fato pode ser observado no trabalho desenvolvido por Eagles (1967), em que o autor avaliou as variações diárias nas concentrações de carboidratos solúveis em *Dactylis glomerata* cultivado em diferentes temperaturas, verificando maiores acúmulos abaixo de 20°C.

Já em plantas com ciclo de quatro carbonos (C4), o processo de fixação de carbono acontece não nas células do mesófilo, mas sim na célula da bainha vascular (Taiz *et al.*, 2015). Pode-se observar essas diferenças fisiológicas no trabalho de Lechtenberg *et al.* (1973), em que avaliando as variações diárias das concentrações de carboidratos não estruturais em *Sorghum sudanense*, os autores notaram que as taxas de acúmulo de sacarose e amido foram influenciadas pela temperatura e radiação e que a queda da temperatura durante a noite manteve os níveis de sacarose alto.

Ao investigar como ocorriam as flutuações diárias nas concentrações de carboidratos não estruturais, De Oliveira *et al.* (2018) constataram comportamento quadrático no acúmulo de carboidratos solúveis em etanol e CNF, tanto na fração pseudo colmo (PC) como na fração lamina foliar (LF), com maiores concentrações nesta última. Para as concentrações de amido, os autores observaram efeito linear para LF e cúbica para PC.

Visando avaliar o impacto do horário de corte sobre rendimento por área e concentrações de carboidratos solúveis em alfafa, Dexter (1945) notou que cortes ao final do dia apresentavam maiores teores de açúcares promovendo feno de excelente qualidade.

No entanto, o autor constatou que quando o período de desidratação foi prolongado, grande parte foi perdida.

Uma vez que se observa aumento de carboidratos não fibrosos em fenos provenientes de forragem colhidas ao final do dia, observou-se maior preferência por estes fenos. Isso porque o acúmulo de fotoassimilados acarreta redução de compostos fibrosos e conseqüentemente aumento na digestibilidade (Fisher *et al.*, 1999).

Incluindo feno de alfafa ceifado em diferentes horários do dia e estágio de maturidade, Yari *et al.* (2014) observaram maior digestibilidade aparente da MS, MO e PB em rações que continham fenos colhidos ao final da tarde, entretanto não houve efeito sobre a ingestão de MS, comportamento ingestivo, e composição do leite de vacas mantidas em confinamento do tipo *tie-stall*.

Diante deste contexto, há demanda de estudos para melhor compreender os impactos de sistemas de desidratação artificial com uso de recursos renováveis frente a técnicas tradicionais. Uma outra lacuna é avaliar em ambiente tropical a depleção durante a fase de desidratação dos carboidratos solúveis acumulados ao longo do dia pela planta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(Normas: Grass and Forage Science)

- Arinze, E. A., Sokhansanj, S. & Schoenau, G. J. (1993) Simulation of natural and solar-heated air hay drying systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, **8**, 325-345. DOI: 10.1016/0168-1699(93)90019-W
- Azevedo, A. C. C. G., Costa, K. A. d. P., Collao-Saenz, E. A., Dias, F. J. D. S., Severiano, E. d. C. & Cruvinel, W. S. (2014) Nutritional value of xaraes and piata palisadegrass silages prepared with additives or wilting. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, **36**, 25-31.
- Barger, E. L. & Shedd, C. K. (1946) Curing hay in the barn. *Farm Science Reporter*, **7**, 2.
- Béranger, C. (1998) Récolter et conserver l'herbe. Un bref historique. *Fourrages*, 275-285.
- Binswanger, H. (1986) Agricultural mechanization: A comparative historical perspective. *The World Bank Research Observer*, **1**, 27-56.
- Boller, W. (2012) Máquinas para a colheita e conservação de forragens. In: Fontaneli R. S., Santos H. P. D. and Fontaneli R. S. (eds.) *Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira*, 2 edn, pp. 367-434. Brasília, Brazil: Embrapa Trigo.
- Bratzler, J. W., Keck Jr, E. & Yoerger, R. R. (1960) Effect of temperature upon the nutritive value of artificially dried hay. *Journal of animal science*, **19**, 1186-1189.
- Brown, W. O. & Robinson, K. L. (1952) The composition and digestibility of northern irish hays iii. Factors influencing the production of high-quality hays. *The Journal of Agricultural Science*, **42**, 362-368.
- Browne, C. A. (1929) *The spontaneous combustion of hay*: US Department of Agriculture.
- Burke, E. (1847) *List of patents for inventions and designs, issued by the united states, from 1790 to 1847 (etc.)*. Washington, D.C.: J. & GS Gideon.
- Calixto Junior, M., Jobim, C. C., Cecato, U., Santos, G. T. & Bumbieris Junior, V. H. (2012) Curva de desidratção e composição químico-bromatológica do feno de grama-estrela (*cynodon nlemfuensis vanderyst*) em função do teor de umidade no enfardamento. *Semina: Ciências Agrárias*, **33**, 2411-2422. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n6p2411
- Carter, W. R. B. (1960) A review of nutrient losses and efficiency of conserving herbage as silage, barn-dried hay and field-cured hay. *Grass and Forage Science*, **15**, 220-230.

- Chevalier, T. (1858) *Manuel d'agriculture à l'usage des écoles primaires du département de l'allier*. Moulins: Desrosiers et Fils.
- Clark, B. J., Prioul, J. & Couderc, H. (1977) The physiological response to cutting in italian ryegrass. *Grass and Forage Science*, **32**, 1-5. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1977.tb01405.x
- Culpin, C. (1962) Developments in methods of barn hay drying. *Grass and Forage Science*, **17**, 150-156.
- Curtis, O. F. (1944) The food content of forage crops as influenced by the time of day at which they are cut. *Journal of the American Society of Agronomy*, **38**, 401-416.
- De Oliveira, F. C. L., Sanchez, J. M. D., Vendramini, J. M. B., Lima, C. G., Luz, P. H. C., Rocha, C. O., Pereira, L. E. T. & Herling, V. R. (2018) Diurnal vertical and seasonal changes in non-structural carbohydrates in marandu palisade grass. *The Journal of Agricultural Science*, 1-8. DOI: 10.1017/s0021859618000394
- Descôteaux, S. & Savoie, P. (2002) Intensive forage conditioning applied after mowing: Prototype development and drying experiments. *Canadian Biosystems Engineering*, **44**, 2.15-2.22.
- Dexter, S. T. (1945) The yield and sugar content of alfalfa cut at various times of day and the sugar content of the hay after various methods of drying. *Journal of the American Society of Agronomy*, **37**, 394-399.
- Dieffenbach, E. & Gray, R. (1960) The development of the tractor. *Agricultural Yearbook*, 24-45.
- Eagles, C. F. (1967) Variation in the soluble carbohydrate content of climatic races of *dactylis glomerata* (cocksfoot) at different temperatures. *Annals of Botany*, **31**, 645-651.
- Ekechukwu, O. V. & Norton, B. (1999) Review of solar-energy drying systems ii: An overview of solar drying technology. *Energy Conversion & Management*, **40**, 615-655. DOI: 10.1016/S0196-8904(98)00093-4
- Fasoli, C. & Ohlman, F. J. V. (1854) *Principaux travaux champêtres servant à l'entretien de l'homme*. Strasburg.
- Ferguson, W. S. & Watson, S. J. (1944) The composition and nutritive value of seeds hays. *The Journal of Agricultural Science*, **34**, 88-92.
- Fisher, D. S., Mayland, H. F. & Burns, J. C. (1999) Variation in ruminants' preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. *Journal of animal science*, **77**, 762-768.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A. & Sulaiman, M. Y. (2010) Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 1-30.

- Glasbey, C. A. (1988) Effects of conditioning, swath structure, and weather on the drying rate of mown grass. *Biometrics*, 283-288.
- Goetsch, A. L., Zeng, S. S. & Gipson, T. A. (2011) Factors affecting goat milk production and quality. *Small Ruminant Research*, **101**, 55-63.
- Greenhill, W. L. (1959) The respiration drift of harvested pasture plants during drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **10**, 495-501.
- Hoffman, E. J. (1935) Oxidation and gas formation in the spontaneous heating of hay. *Journal of Agricultural Research*, **51**, 527-46.
- Holt, D. A. & Hilst, A. R. (1969) Daily variation in carbohydrate content of selected forage crops. *Agronomy Journal*, **61**, 239-242. DOI: 10.2134/agronj1969.00021962006100020020x
- Horrocks, R. D. & Valentine, J. F. (1999) *Harvested forages*: Academic Press.
- Jones, L. (1979) The effect of stage of growth on the rate of drying of cut grass at 20 c. *Grass and Forage Science*, **34**, 139-144.
- Jouin, C. (1961) Le séchage en grange. *Fourrages*, 121+165.
- Kerr, J. A. M. & Brown, W. O. (1965) A comparison of nutrient losses in baled hay made from forage-harvested, crimped or tedded swards with those in barn-drying. *Grass and Forage Science*, **20**, 156-163.
- Kerr, J. A. M., Morrison, J. & Brown, W. O. (1963) A comparison of silage and barn-dried hay for beef production. *Grass and Forage Science*, **18**, 261-267.
- King, W. A., Wilbur, J. W., Hauge, S. M. & Cooper, A. W. (1950) Studies on the feeding value of mow-cured baled hay. *Journal of dairy science*, **33**, 16-23.
- Klinner, W. E. (1975) Design and performance characteristics of an experimental crop conditioning system for difficult climates. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **20**, 149-165.
- Klinner, W. E. & Hale, O. D. (1984) Design evaluation of crop conditioners with plastic elements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **30**, 255-263.
- Klinner, W. E. & Shepperson, G. (1975) The state of haymaking technology—a review. *Grass and Forage Science*, **30**, 259-266. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1975.tb01386.x
- Knapp, W. R., Holt, D. A., Lechtenberg, V. L. & Vough, L. R. (1973) Diurnal variation in alfalfa (*medicago sativa* l.) dry matter yield and overnight losses in harvested alfalfa forage. *Agronomy Journal*, **65**, 413-417. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500030018x
- Lechtenberg, V. L., Holt, D. A. & Youngberg, H. W. (1973) Diurnal variation in nonstructural carbohydrates of sorghum sudanense (*stapf*) as influenced by

- environment. *Agronomy Journal*, **65**, 579-583. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500040016x
- Lechtenburg, V. L., Holt, D. A. & Youngberg, H. W. (1972) Diurnal variation in nonstructural carbohydrates of *festuca arundinacea* (schreb.) with and without n fertilizer. *Agronomy Journal*, **64**, 302-305. DOI: 10.2134/agronj1972.00021962006400030013x
- Macdonald, A. D. & Clark, E. A. (1987) Water and quality loss during field drying of hay. *Advances in agronomy*, **41**, 407-437.
- Marx, R. E. & Birkhead, J. W. (1951) *Hay harvesting methods and costs*: US Department of Agriculture.
- Matos, L. L. (2002) Estratégias para redução do custo de produção de leite e garantia de sustentabilidade da atividade leiteira, In: Santos G. T., Jobim C. C. and Damasceno J. C. (eds). Proceedings of the Simpósio sobre sustentabilidade da Pecuária Leiteira na Região Sul do Brasil – Sul-Leite. , Maringá-PR, pp. 156-183.
- McClure, H. B. (1918) Haymaking. In: Usda (ed.), p. 31. Washington, D.C.: Division of Publications, United States Department of Agriculture.
- Melvin, J. F. & Simpson, B. (1963) Chemical changes and respiratory drift during the air drying of ryegrass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **14**, 228-234.
- Monroe, C. F., Hilton, J. H., Hodgson, R. E., King, W. A. & Krauss, W. E. (1946) The loss of nutrients in hay and meadow crop silage during storage. *Journal of dairy science*, **29**, 239-256.
- Morissette, R. & Savoie, P. (2012) Effect of maceration, tedding and windrow handling sequence on hay drying. Proceedings of the NABEC-CSBE/SCGAB Joint Meeting and Technical Conference Orillia, Canada, July 15-18, 2012.
- Murdoch, J. C. & Bare, D. I. (1960) The effect of mechanical treatment on the rate of drying and loss of nutrients in hay. *Grass and Forage Science*, **15**, 94-99.
- Murdoch, J. C. & Bare, D. I. (1963) The effect of conditioning on the rate of drying and loss of nutrients in hay. *Grass and Forage Science*, **18**, 334-338.
- Murdoch, J. C., Foot, A. S., Head, M. J., Holdsworth Muriel, C., Hosking Zena, D. & Line, C. (1959) Changes in chemical composition and the loss of nutrients in tripoded and swath-cured hay. *Grass and Forage Science*, **14**, 247-252. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1959.tb01026.x
- Orloff, S. B. (2013) Harvesting and curing high quality hay., In: Daniel J. L. P., Santos M. C. and Nussio L. G. (eds). Proceedings of the III International Symposium on Forage Quality and Conservation, São Pedro-SP, pp. 191-208.
- Pelletier, S., Tremblay, G. F., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Pageau, D. & Drapeau, R. (2010) Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species. *Agronomy Journal*, **102**, 1388-1398. DOI:10.2134/agronj2010.0158



- Piper, C. V., Oakley, R. A., Vinall, H. N., Pieters, A. J., Morse, W. J., Spillman, W. J., Stine, O. C., Cotton, J. S., Collier, G. A., Cooper, M. R., Parker, E. C., Sheets, E. W. & Semple, A. T. (1924) Hay. *Yearbook of Agriculture*, 285-376.
- Rees, D. V. H. (1982) A discussion of source of dry matter loss during the process of haymaking. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **27**, 469-479. DOI: 10.1016/0021-8634(82)90085-3
- Resch, R., Adler, A. & Pötsch, E. M. (2014) Impact of different drying techniques on hay quality, In: Jambor V., Malá S., Vosynková B. and D. K. (eds). Proceedings of the XVI International Symposium of Forage Conservation, Brno, Czech Republic, June 3-6, 2014, pp. 27-38.
- Rice, B. (1966) A comparison of six types of haymaking machine. *Irish Journal of Agricultural Research*, 43-53.
- Robertson, J. A. (1983) Influence of harvesting and conservation practices on forage quality. *Canadian Journal of Plant Science*, **63**, 913-925.
- Rotz, C. A. (1995a) Field curing of forage. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 39-66. Madison, WI: CSSA & ASA, Inc.
- Rotz, C. A. (1995b) Loss models for forage harvest. *Transactions of the ASAE*, **38**, 1621-1631.
- Rotz, C. A. & Abrams, S. M. (1988) Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage. *Transactions of the ASAE*, **31**, 350-0355.
- Rotz, C. A. & Muck, R. E. (1994) Changes in forage quality during harvest and storage. In: Fahey Jr G. C. (ed.) *Forage quality, evaluation, and utilization*, pp. 828-868. Madison: University of Nebraska.
- Savoie, P. (1988) Hay tedding losses. *Canadian Agricultural Engineering*, **30**, 39-42.
- Savoie, P., Rotz, C., Bucholtz, H. & Brook, R. (1982) Hay harvesting system losses and drying rates. *Transactions of the ASAE*, **25**, 581-0585.
- Savoie, P., Tremblay, Y., Dubreuil, S. & Khelifi, M. (2002) Effect of mechanical conditioning, windrow handling, and maturity on the drying rate of timothy hay in a wind tunnel. *Canadian Biosystems Engineering*, **44**, 2.1-2.8.
- Shepherd, J. B., Wiseman, H. G., Ely, R. E., Melin, C. G., Sweetman, W. J., Gordon, C. H., Schoenleber, L. G., Wagner, R. E., Campbell, L. E. & Roane, G. D. (1954) *Experiments in harvesting and preserving alfalfa for dairy cattle feed*. Washington, D. C.: USDA
- Shepperson, G. & Grundey, J. K. (1962) Recent developments in quick haymaking techniques. *Grass and Forage Science*, **17**, 141-149.

- Snow, D., Crichton, M. H. G. & Wright, N. C. (1944) Mould deterioration of feeding-stuffs in relation to humidity of storage: Part i. The growth of moulds at low humidities. *Annals of Applied Biology*, **31**, 102-110.
- Spencer, H. B., Lamond, W. J., Graham, R. & Moore, A. B. (1989) Factors affecting the resistance of moisture transfer during drying of cut grass. *Drying technology*, **7**, 747-759.
- Sutton, J. (1989) Altering milk composition by feeding. *Journal of dairy science*, **72**, 2801-2814.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. & Murphy, A. (2015) *Plant physiology and development*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates, Inc.
- Waite, R. (1949) The relation between moisture content and moulding in cured hay. *Annals of Applied Biology*, **36**, 496-503.
- Watson, S. J., Ferguson, W. S. & Horton, E. A. (1937) The time of cutting hay, and the losses entailed during haymaking. *The Journal of Agricultural Science*, **27**, 224-258. 10.1017/S0021859600051170
- Weaver Jr, J. W. & Wylie, C. E. (1939). *Drying hay in the barn and testing its feeding value*. In, Knoxville, , p. 24.
- Wilkinson, J. M. (1981) Losses in the conservation and utilisation of grass and forage crops. *Annals of Applied Biology*, **98**, 365-375.
- Wilkinson, R. H. & Hall, C. W. (1966) Respiration heat of harvested forage. *Transactions of the ASAE*, **9**, 424-0427.
- Woodward, T. & Shepherd, J. (1936) An experiment in chopping alfalfa hay at the time of storage: Effect upon space required, temperatures attained, color, feeding value, and losses of feed constituents. *Journal of dairy science*, **19**, 697-706.
- Wyss, U., Arrigo, Y., Meisser, M., Nydegger, F., Boéchat, S. & Boessinger, M. (2011) Les facteurs de réussite du foin séché en grange à partir de l'expérience suisse. *Fourrages*, 3-10.
- Yari, M., Valizadeh, R., Naserian, A. A., Jonker, A., Azarfar, A. & Yu, P. (2014) Effects of including alfalfa hay cut in the afternoon or morning at three stages of maturity in high concentrate rations on dairy cows performance, diet digestibility and feeding behavior. *Animal feed science and technology*, **192**, 62-72. 10.1016/j.anifeeds.2014.04.001

### III - OBJETIVOS GERAIS

Avaliar as perdas e alterações na composição nutricional de fenos de plantas forrageiras de clima temperado, submetidos a desidratação em galpão secador com a redução do tamanho de partícula em dois comprimentos, além de comparar estes com material desidratado a campo. Também objetivou-se comparar em *Cynodon* spp. o efeito do horário de corte, visando aproveitar o acúmulo de carboidratos solúveis durante o dia, para produção de feno, bem como as alterações sobre a composição químico-bromatológica ao longo do armazenamento.

#### IV - EFEITO DO TAMANHO DE PARTÍCULA NAS PERDAS E VALOR NUTRICIONAL DE FENOS PRODUZIDOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE SECAGEM

(**Normas:** Grass and Forage Science)

**Resumo.** Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do tamanho de partícula de forrageiras consorciadas sobre a composição nutricional e perdas ao longo do processo de fenação em sistema de secagem artificial. Os tratamentos foram: forragem seca em galpão (com sistema de aquecimento solar) com redução de partícula em tamanho teórico de 85 e 170 mm de comprimento, contrastados com feno produzido de forma convencional a campo. Para melhor comparar os tratamentos, a etapa de desidratação das plantas foi dividida em período de emurchecimento e secagem. Na composição nutricional, o feno seco a campo diferiu dos materiais secos artificialmente em teores de MS, PB, FDA, lignina, hemicelulose, CSA e DIVMS. Já comparando os tamanhos de partícula, observou-se diferença apenas nas concentrações de MS e MO. Nas perdas durante a etapa de secagem, houve diferença entre campo vs. secador artificial apenas para as variáveis CSA e MS<sub>DIV</sub>. Ao reduzir o tamanho de partícula (longo vs. curto) ocorreu aumento sobre as perdas de MS, MO, MM, PB e MS<sub>DIV</sub>. Nas perdas totais, ao comparar campo e secador, observou-se diferença apenas sobre as perdas de HEM, CSA e MS<sub>DIV</sub>. A secagem artificial apresentou menores alterações sobre a composição nutricional. Ao comparar com o método tradicional, somente o feno com partícula longa apresentou menores valores sobre perdas totais. Com a redução do tamanho de partícula, as perdas foram significativas, assemelhando-se ao método tradicional, assim não sendo recomendado processamento inferior a 170 mm.

**Palavras-chave:** depleção, redução de partícula, secador solar; secagem a granel,

## EFFECT OF PARTICLE SIZE ON LOSSES AND NUTRITIONAL VALUE IN DRIED ARTIFICIALLY HAY

**Abstract** The objective of this work was to evaluate the effect of the herbage particle size on nutritional composition and losses during the haymaking in artificial drying system. The treatments were: barn-drying (with solar heating system) with theoretical particle size reduction to 85 and 170 mm in length, contrasted with field-hay produced. To better compare the treatments, the drying step was divided into wilting and drying period. In the nutritional composition, the field-hay differed from the barn-hays in DM, CP, ADF, lignin, hemicellulose, WSC and IVDMD. By comparing the particle sizes, a difference was observed only in the DM and OM concentration. In the losses during the drying stage, there was a difference between field and barn only for WSC and ivdDM losses. When the particle size of a barn treatment was reduced, the losses were just for DM, OM, ash, CP and ivdDM. In the total losses, when comparing field and barn, losses difference were observed only for HEM, WSC and ivdDM. Artificial drying presented minor changes on nutritional composition. With the particle size reduction, the losses were significant, resembling the traditional method, thus not being recommended processing inferior to 170 mm.

**Key words:** depletion, solar-dryer, bulk drying, particle size

### Introdução

As mudanças nas características nutricionais de alimentos destinados aos herbívoros se dão ao longo do período de conservação, por meio de processos fisiológicos (respiração e processos metabólicos na planta), ações microbiológicas (proliferação de microrganismos), fatores climáticos (lixiviação de componentes solúveis - exposição a chuvas; oxidação de vitaminas por meio de radiação solar) ou a interação entre todos estes fatores (Carter, 1960; Wood & Parker, 1971; Moser, 1995).

A fenação tem como objetivo conservar forragens por meio da desidratação, mantendo a umidade em níveis que não ocorra desenvolvimento microbiano durante a fase de armazenamento. Para que ocorram menores alterações e perdas, a forragem, que normalmente contém umidade entre 850 a 650 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) no momento

do corte, deve atingir quantidades abaixo de 200 g kg<sup>-1</sup>MS no menor intervalo de tempo possível. Isso reduzirá o tempo de respiração pela planta, bem como o desenvolvimento microbiano na forragem ceifada e, o principal e mais impactante fator, o risco de ocorrência de chuvas (Rees, 1982; McGechan, 1989).

A magnitude das perdas de MS (g kg<sup>-1</sup> MS recolhida) e dos demais componentes nutricionais no processo de fenação variam de acordo com as condições climáticas, espécie forrageira, composição botânica, estágio de desenvolvimento e as técnicas empregadas na secagem (Rotz & Abrams, 1988; Rotz, 1995b; Scarbrough *et al.*, 2005; Resch *et al.*, 2014).

Uma estratégia para reduzir o tempo de secagem é o uso de instalações projetadas (ou adaptadas) para secagem artificial. O desenvolvimento da técnica de secagem em celeiros ganhou destaque no início do século XX nos EUA e logo se disseminou para países onde as condições climáticas dificultam a secagem a campo (Piper *et al.*, 1924; Jouin, 1961). Para boa aplicação da técnica, recomendava-se que a forragem deveria desidratar a campo até atingir aproximadamente 400 g kg<sup>-1</sup> MS de umidade, reduzindo a quantidade de água que evaporaria dentro do secador, bem como a possibilidade de compactação (Klinner & Shepperson, 1975).

Em estudo recente, Schlegel *et al.* (2018) observaram, em forrageiras consorciadas desidratadas em secadores, redução de 4,5% nos teores de proteína bruta (PB) e aumento de 9,38% na fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), em comparação a composição no momento do corte. Nos fenos desidratados a campo a redução nos teores de PB foram quase o triplo (12,5%) e o incremento nos teores de FDN e FDA foram respectivamente de 8,15% e 4,40%. Uma forragem de melhor qualidade, com menores concentrações de componentes fibrosos, apresentam maior consumo, e conseqüentemente maior desempenho animal (McCormick *et al.*, 2011).

O uso de secagem artificial eleva o custo de produção, contudo uma forragem de melhor qualidade possui valor agregado (Arinze *et al.*, 1996). Secadores com sistema de aquecimento de ar por meio de radiação solar, busca minimizar o custo no processo de desidratação artificial e reduzir o impacto ambiental (Arinze *et al.*, 1998; VijayaVenkataRaman *et al.*, 2012).

Comparando diferentes técnicas de secagem, Resch *et al.* (2014) observaram diferença nas concentrações de PB, caroteno, matéria orgânica digestível (dMO) e energia líquida para lactação (EM<sub>L</sub>) entre fenos desidratados a campo *vs.* secadores. No entanto, não houve diferença entre a secagem com ar desumidificado e a temperatura ambiente.

Ainda há grande lacuna de informações sobre as perdas quantitativas em secadores solares com forragem não enfardada (*stack*), bem como impacto de alguns manejos, como por exemplo a redução do tamanho de partícula. Diante da problemática, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da estratégia de secagem e do tamanho de partícula sobre perdas qualitativas e quantitativas na produção de fenos desidratados em secador com sistema de captação solar para aquecimento do ar.

## Material e Métodos

### *Manejo de campo, corte e amostragens*

O experimento foi conduzido nas dependências da Unidade experimental de Forragens, Ambiente e Ruminantes de Lusignan (UE FERLus), localizada no município de Lusignan-França (46°25'07 N, 0°07'06 E, altitude: 110m) e pertencente ao *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA).

No presente estudo foram utilizadas duas parcelas (D1 e D2) cultivadas apenas para fenação, manejadas em sistema consorciado gramínea-leguminosa. As espécies cultivadas eram festuca alta (*Festuca arundinacea*), bromus (*Bromus catharticus & sitchensis*), capim-timóteo (*Phleum pratense*), alfafa (*Medicago sativa* L.), sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) e trevo-branco (*Trifolium repens* L. - TB). Ambas as parcelas são pertencentes ao programa experimental *Patuchèv*, locado dentro da UE FERLus.

Em agosto de 2015 foi realizada a ressemeadura da parcela D1 com densidade de 87,5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis. Planejou-se na sementeira uma população de plantas com 33,4% de alfafa (14,0 kg), 23,3% de sainfoin (60,0 kg), 4,1% de TB (0,5 kg), 5,1 % de bromus (7,0 kg), 8,8% de festuca (4,0 kg) e 25,4 % de capim-timóteo (2,0 kg), totalizando 60,8% de leguminosa e 39,2% de gramínea na parcela. No ano seguinte a segunda parcela (D2) foi implantada no mês de abril com as mesmas quantidades de sementes, salvo a adição de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis de língua de ovelha (*Plantago lanceolata*), totalizando a população de 58,9% de leguminosas, 38,0% de gramínea e 3,1% de *P. lanceolata*.

Foram realizados dois cortes por parcela (18/07/2017 e 16/08/2017 – D1; 21/06/2017 e 10/08/2017 – D2), contemplando 2º, 3º e 4º corte. Visando o acúmulo de carboidratos solúveis (Pelletier *et al.*, 2010), os cortes para fenação foram realizados por volta das 17h (GMT +1). Antecedendo cada corte foram coletadas amostras aleatoriamente por parcela com o intuito de estimar a composição botânica. Duas amostras

compostas (aproximadamente 500 g de material cada), foram estratificadas manualmente por gêneros: alfafa, trevo branco, sainfoin, gramíneas e herbáceas (plantas invasoras e *P. lanceolata*). Após identificação e separação, os materiais foram encaminhados para a estufa de ventilação forçada a 60°C por 72h para determinação do teor de matéria seca (MS) e determinação das proporções, expressas na base seca.

Os tratamentos avaliados foram: feno produzido em dois tamanhos teóricos de partícula (longo: 170 mm e, curto: 85 mm), ambos com o processo de desidratação artificial em secador, e comparados com um tratamento controle desidratado a campo (material sem processamento). Para os materiais desidratados artificialmente contou-se com galpão de 520 m<sup>2</sup> projetado para este fim. O galpão contava com 8 unidades de secagem (denominadas células) e armazenamento, área de descarregamento e sala de máquinas, em que estavam instalados os ventiladores.

No presente estudo foram utilizadas duas células de secagem e armazenamento por tratamento. As unidades de secagem possuíam superfície de 36 m<sup>2</sup> e volume de 180 m<sup>3</sup>, equipadas com um ventilador de ação radial (centrifugo, RLZ 58 E – 1607 K, Zumstein Maschinen AG, Bätterkinden, Suíça) por célula. O fluxo de ar inicial (teórico) de 41,5 mil m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, de acordo com o fabricante. As instalações contavam com sistema de aquecimento de ar por teto solar (*collector-roof active solar-energy storage dryer*) conforme descrito por Ekechukwu & Norton (1999).

Devido a variabilidade na composição florística do campo de feno, optou-se por realizar cortes com uma segadora de disco sem sistema de condicionamento (GMD 3110, Kuhn S.A, Saverne, França). Após os cortes foram realizadas operações de espalhamento da forragem com o uso de ancinho espalhador (GF 5801 MH, Kuhn S.A, Saverne, França). A forragem ficou emurhecendo no campo até atingir entre 550 a 650 g kg<sup>-1</sup> MS ou, no máximo 24 horas. Para comparar de forma semelhante os processos de desidratação a campo e artificial, cada período de avaliação foi dividido em etapa de emurhecimento e de secagem.

Aproximadamente uma hora antes do fim do emurhecimento, a forragem foi enleirada com ancinho enleirador (GA 4521 GM, Kuhn S.A, Saverne, França), de forma que as leiras fossem menos heterogêneas possível.

Após o enleiramento, a forragem que desidrataria no secador foi recolhida com vagão forrageiro (Euroboss 290H, Pottinger GmbH, Grieskirchen, Áustria) de forma a resultar em recolhimento homogêneo das leiras. Para avaliação do tratamento, controle pequenas partes das leiras foram deixadas no campo e espalhadas manualmente.



Para a obtenção dos diferentes tamanhos teóricos de partículas, variou-se o número de lâminas instaladas no conjunto facas do sistema de redução de partícula do vagão. Foram utilizadas 16 ou 8 facas com espaçamento de 85 e 170 mm, respectivamente por configuração.

O tempo de entrada da forragem para secagem em galpão variou em torno de 15 a 30 min entre os tratamentos (TMP) em função da utilização do mesmo implemento para o recolhimento. Os levantamentos das quantidades de MS de forragem recolhida por tratamento tiveram o intuito de acompanhar o volume de forragem disponível ao longo do ano. Para isto foi utilizada uma balança rodoviária (modelo X241-TG 349898, Privas, Rhône-Alpes, França) para a pesagem do conjunto trator e vagão + forragem, e após descarregamento, a tara do conjunto.

Ao chegar à área de descarga (espaço coberto e com piso revestido), o vagão era descarregado e a forragem depositada sobre o piso. Amostras de forragem foram tomadas para determinação de MS e composição nutricional da forragem no momento de entrada no galpão.

Após o descarregamento do vagão forrageiro, a forragem foi depositada em célula de secagem de forma espalhada com auxílio de uma garra telescópica, formando camadas de espessura semelhante entre os dois tamanhos de partícula. A espessura da camada variou entre os períodos de acordo com a produtividade ( $12 \text{ cm} \pm 4$ ).

Por se tratar de um sistema de secagem e armazenamento, as células de desidratação possuíam no seu interior feno do primeiro corte. Para manter o mesmo fluxo de ar entre os tratamentos, o volume de forragem que havia nas células foi previamente redistribuído. Aproximadamente 30 min antes da deposição da forragem recolhida no campo, os ventiladores eram ligados para estabilização do fluxo de ar no interior da célula.

Também neste momento foram instalados em cada célula dois termo-higrômetros com dispositivo de armazenamento de dados (*datalogger* – PCE HT71N, PCE Instruments Ltd, Southampton, Reino Unido) a aproximadamente 10 cm de profundidade na forragem que estava depositado no local, objetivando mensurar as características do ar que chegaria à massa de forragem depositada para secar.

Após a deposição do material a ser seco, outros dois *dataloggers* foram depositados a 10 cm acima da camada de forragem úmida, com o intuito de mensurar o ar que saía da massa. Os aparelhos foram configurados e sincronizados para mensurações a cada 5 min. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento no

campo foram realizadas por estação meteorológica instalada a pouco mais de 500 metros das parcelas e disponíveis na plataforma CLIMATIK - INRA. Com os dados de temperatura e umidade foram calculados o déficit de pressão de vapor (VPD) e umidade absoluta ( $\text{g H}_2\text{O m}^{-3} \text{ ar}$ ) de acordo com (Parish & Putnam, 1977).

Para acompanhamento da perda de água, realizou-se amostragens ao longo dos períodos. Amostras foram tomadas com o intuito de observar os efeitos dos tratamentos impostos à secagem artificial, bem como o efeito de reidratação da forragem no tratamento controle, pela formação de orvalho ou mesmo por possível ocorrência de precipitação. As amostras coletadas foram pesadas e encaminhadas imediatamente à estufa de ventilação forçada a  $60^\circ\text{C}$  para determinação de MS.

#### *Análises laboratoriais*

Ao final de cada período as amostras foram moídas a 1 mm em moinho tipo martelo, depositadas em frascos com tampas e armazenadas em sala com temperatura e umidade controlada até o envio ao laboratório.

Todas as amostras foram analisadas por meio de tecnologia de espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (*Near infra-red reflectance spectroscopy* – NIRS, 6500, FOSS-NIR System, Silver Spring, EUA) calibrado para culturas forrageiras (*Lolium perene* L., *Dactylis glomerata* L., *F. arundinacea*, *B. catharticus* & *sitchensis*, *P. pretens*, *Lotus corniculatus* L., *M. sativa* L., *O. viciifolia* e *T. repens* L.) cultivadas de forma consorciadas. Foram utilizadas na calibração amostras provenientes de misturas artificiais e reais, bem como amostras coletadas a campo com presença de plantas daninhas. A estatística dos dados referentes a curva de calibração do aparelho está apresentada na Tabela 1.

As análises de matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido (LDA) foram determinadas conforme metodologias propostas pela AOAC (1990) segundo procedimentos 942.05, 968.06 e 973.18. Os valores de fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos utilizando sulfato de sódio, amilase termo-estável e corrigidos para cinzas (Mertens, 2002). Foi utilizado na determinação de FDN e FDA o analisador de fibras *Ankom 200 fiber analyzer*<sup>®</sup>, sendo as análises de FDN, FDA e LDA realizadas sequencialmente. Os carboidratos solúveis em água (CSA) foram mensurados conforme metodologia proposta por Lila (1977). A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi obtida pelo método enzimático (Aufreere, 1982) adaptado para utilização do rúmen artificial *Ankom Daisy II*<sup>®</sup>.

Para calcular os valores de matéria orgânica (MO) foram utilizados os valores estimados de MM em que  $MO (\%) = 100 - \% MM$ . Os valores de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) foram calculados utilizando os valores estimados de FDN, FDA e LDA, sendo  $HEM (\%) = \% FDN - \% FDA$ , e  $CEL (\%) = \% FDA - \% LDA$ .

#### *Análises de degradabilidade ruminal in situ*

As amostras que foram utilizadas para determinação de perdas (*screen bag*) na segunda etapa de secagem foram moídas a 5 mm e realizadas amostras compostas por tratamento e período. Estas amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Alimentos e Nutrição Animal, pertencente à Universidade Estadual de Maringá, para realização das análises de degradabilidade ruminal *in situ*. Foram utilizadas 2 vacas da raça holandesa portadoras de cânula ruminal, alimentadas com dieta contendo 75% de volumoso e 25% de concentrado.

Para determinação da degradabilidade ruminal da MS, as amostras foram incubadas em sacos de náilon (10 x 20 cm) nos tempos 5, 12, 24, 48, 72 horas utilizando o procedimento de incubação reversa. Ao final do período de incubação, os sacos foram removidos e imersos em água gelada para cessar a atividade microbiana. As amostras do tempo zero foram colocadas em banho maria a 39°C por 60 min. Por fim, todos os sacos foram lavados em máquina de lavar roupas em ciclos de 15 min, até que não restasse resíduos na água. Após o processo de lavagem, os sacos foram levados para a estufa de 60°C por 72 horas para secagem, seguindo a pesagem para a determinação da degradabilidade ruminal nos respectivos tempos.

A degradabilidade potencial da MS foi calculada através da equação descrita por Ørskov & McDonald (1979),  $P = a + b(1 - e^{-ct})$  sendo: P = degradação potencial no tempo *t* (expresso em horas); a = intercepto representando a porção prontamente degradável no rúmen; b = fração insolúvel, mas potencialmente degradável; c = taxa constante de degradabilidade da fração b ( $\text{hora}^{-1}$ ); t = tempo de degradação, em horas. Os parâmetros não lineares a, b e c foram estimados por procedimentos não lineares (PROC NLIN) com auxílio do software SAS.

A degradabilidade efetiva (DE) da MS no rúmen foi calculada através da equação  $DE = a + [(bc) / (c+k)]$ , onde: k = taxa estimada da passagem de sólidos no rúmen; a, b e c são valores estimados pela equação de degradabilidade potencial. A DE foi estimada para taxas de passagem de sólidos de 4%, 8% e 12%  $\text{h}^{-1}$ , considerando níveis de ingestão alimentar baixo, médio e alto.

### *Determinação de perdas*

Com o objetivo de visualizar a magnitude das perdas não mecânicas de MS durante o emurchecimento, sacos (volume de 3,0 dm<sup>3</sup>) confeccionados em tela de nylon (*screen bag*) foram preenchidos com amostra de forragem logo após corte. Visando reduzir a heterogeneidade forrageira dentro da parcela, a massa de forragem para esta avaliação foi tomada aleatoriamente no campo, homogeneizada manualmente e posteriormente utilizada no preenchimento dos sacos de perdas. Previamente os sacos foram identificados, tarados e, após a homogeneização da forragem, preenchidos, pesados e recolocados no campo. Do material coletado para o enchimento dos sacos, amostras foram tomadas para determinação de MS e composição nutricional da forragem no momento do corte.

Ao final do período de emurchecimento, os sacos foram recolhidos no campo, pesados e a forragem que neles continham foram secas em estufa a 60°C. Para calcular as perdas reais de MS e dos componentes nutricionais, as amostras foram secas, moídas a 1 mm e encaminhadas ao laboratório para análises.

O procedimento foi repetido na etapa de secagem. Para mensurar as perdas na secagem a campo, novos *screen bags* foram preenchidos com forragem emurchecida e recolocados no campo. As perdas obtidas durante o emurchecimento foram semelhantes em todos os tratamentos. A etapa de secagem visou avaliar as perdas entre os diferentes sistemas de secagem.

Para calcular as perdas de MS foram utilizadas as seguintes informações: tara (T) do *screen bag* (g); tara + forragem úmida no início (PUI - g); tara + forragem úmida no final (PUf - g); %MS média das amostras no início da avaliação (MSi); %MS das amostras que estavam no *bag* ao final da avaliação (MSf);

$$\text{Perdas (g kg MS}^{-1}\text{)} = \frac{\text{g MSi} - \text{g MSf}}{\text{g MSi}} \times 1000$$

g MSi = g MS de forragem contida no saco no início ((PUI - T) x % MSi); g MSf = g MS de forragem ao final ((PUf - T) x % MSf), de acordo com as respectivas etapas (emurchecimento a campo; secagem: secador ou campo). Para se manter uma densidade semelhante ao longo dos períodos, os sacos foram preenchidos com forragem com densidade aproximada de 55,0 kg MS m<sup>-3</sup>.

As perdas totais (emurhecimento + secagem) foram calculadas somando a média das perdas de MS no emurhecimento à perda individual por *bag*, obtida durante a etapa final. O cálculo foi realizado por período de corte.

O cálculo de perdas dos componentes nutricionais no emurhecimento foram baseadas nas perdas de MS ( $\text{g kg MS}^{-1}$ ) nesta etapa, contudo expressas em relação as concentrações de cada componente no momento do corte (em  $\text{g kg}^{-1}$ ). Para realização do cálculo foram utilizadas as seguintes informações: composição químico-bromatológica (média) das amostras recolhidas no momento do corte; valor nutricional do material emurhecido no *bag* e; as perdas de MS.

As perdas dos componentes durante a etapa de secagem foram calculadas de maneira semelhante a fase de emurhecimento. Neste caso, considerou-se a composição nutricional da forragem pós-emurhecimento (média das amostras tomadas para determinação de MS no momento de enchimento dos *bags*), as perdas de MS durante a secagem e a composição nutricional da forragem seca (*bag*).

Para calcular as perdas dos componentes nutricionais fez-se o uso da seguinte fórmula:

$$\text{Perdas}_n (\text{g kg}^{-1}nI) = \frac{(1000*\mu_{nI}) - [(1000 - \text{PMS})*n_f]}{(1000*\mu_{nI})}$$

Em que:  $\text{Perdas}_n$ : perdas ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do nutriente  $n$  em relação a quantidade deste no início da avaliação ( $nI$  – emurhecimento ou secagem);  $\mu_{nI}$ : média da concentração do componente  $n$  no início da avaliação (%  $nI$ ); PMS: perdas de matéria seca ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) ao final do período de avaliação (emurhecimento ou secagem);  $n_f$  : concentração do nutriente  $n$  contida na feno ao final do período de secagem.

Para calcular as perdas totais dos nutrientes, foram utilizadas as médias das composições nutricionais no momento dos cortes ( $\mu_{nI}$ ), as perdas de MS totais e a composição final dos fenos ( $n_f$ ).

#### *Análises estatísticas*

Para as análises estatística, fez se o uso do software SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). Os dados de caracterização da composição botânica e nutricional da forragem no momento do corte, bem como as características ambientais e perdas durante o emurhecimento foram analisados de forma descritiva por meio do PROC MEANS, obtendo-se os valores médios, mínimos e máximos, bem como o desvio padrão (DP).

Os dados de composição nutricional (após o emurchecimento e do feno ao final do período de desidratação), características do ambiente durante a secagem, degradabilidade *in situ*, perdas na secagem e total, foram analisados em um delineamento experimental em blocos utilizando procedimento misto (PROC MIXED), em que o tratamento (método de secagem) foi considerado efeito fixo e o bloco (corte) como efeito aleatório (RANDOM) utilizando componentes de variância (VC) como matriz de covariância. Contrastes foram utilizados para comparar o impacto do método de conservação (controle *vs.* secador) e do tamanho de partícula (longo *vs.* curto), considerando diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) e tendência de resultado ( $0,05 \geq P \leq 0,10$ ).

## Resultados

A caracterização botânica das parcelas no momento dos cortes, assim como a composição nutricional, encontra-se na Tabela 2. Os dados ambientais durante os períodos de emurchecimento também, encontra-se caracterizados na Tabela 2.

As parcelas possuíam  $600 (\pm 158)$  g kg<sup>-1</sup> MS de alfafa,  $2,33 (\pm 4,35)$  g kg<sup>-1</sup> MS de trevo-branco,  $27,1 (\pm 22,6)$  g kg<sup>-1</sup> MS de sainfoin,  $218 (\pm 54,3)$  g kg<sup>-1</sup> MS de gramíneas e  $152 (\pm 138)$  g kg<sup>-1</sup> MS de herbáceas.

A composição nutricional, com base na MS, do relvado no momento do corte era:  $331 (\pm 63,4)$  g kg<sup>-1</sup> de MS,  $906 (\pm 5,00)$  g kg<sup>-1</sup> de MO e  $174 (\pm 22,5)$  g kg<sup>-1</sup> de PB. Como componentes fibrosos, a massa de forragem apresentava  $411 (\pm 34,8)$  g kg<sup>-1</sup> de FDN,  $271 (\pm 25,2)$  g kg<sup>-1</sup> de FDA e  $51,7 (\pm 6,65)$  g kg<sup>-1</sup> de lignina, além de  $139 (\pm 17,2)$  g kg<sup>-1</sup> de hemicelulose e  $220 (\pm 20,4)$  g kg<sup>-1</sup> de celulose.

Os carboidratos solúveis em água se encontravam nas concentrações de  $63,8 (\pm 16,1)$  g kg<sup>-1</sup> MS. A quantidade de MS digestível (*in vitro*) contida no material no momento do corte era de  $629 (\pm 39,5)$  g kg<sup>-1</sup> MS.

Após o emurchecimento (Tabela 3) houve diferença na composição nutricional entre os materiais que foram encaminhados para a secagem apenas para MO ( $P = 0,004$ ).

Como esperado, observou-se diferença nas características ambientais (Tabela 4) entre os locais de secagem (campo e secador), exceto para a umidade absoluta (UA – g H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> ar) que foi semelhante nos dois ambientes.

Foi observado diferença na concentração de MS (Tabela 5) quando comparado campo *vs.* secador (C *vs.* S –  $P < 0,001$ ) e entre tamanhos de partícula longa *vs.* curta (SL

vs.SC –  $P = 0,026$ ). Já na concentração de MO, notou-se diferença ( $P = 0,037$ ) quando contrastados os tamanhos de partícula. Houve efeito ( $P < 0,05$ ) nos contrastes entre C vs. S para as variáveis PB, FDA, LDA, HEM, CSA e DIVMS. Não houve diferença entre tratamentos ( $P > 0,05$ ) nas concentrações de FDN e CEL.

Nos parâmetros obtidos no ensaio de degradabilidade *in situ* da MS (Tabela 6) foi constatado diferença na fração *a* da MS (fração prontamente digestível) entre o feno de partícula curta, que apresentou maior ( $P = 0,013$ ) concentração (32,9 %) em relação a partícula longa (31,4%). Diferença semelhante foi observada entre tamanho de partícula para a fração *b* (fração potencialmente degradável), onde o feno de partícula longa apresentou 47,4% ( $P = 0,011$ ). A taxa de degradação (kd), e as respectivas degradabilidades efetivas estimadas a 4%, 8% e 12% de passagem de sólidos (ED<sub>4</sub>, ED<sub>8</sub>, ED<sub>12</sub>) não diferiram entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ).

As perdas durante o período de emurchecimento (Tabela 7) foram obtidas inicialmente para a MS, com perda média 93,1 ( $\pm 57,2$ ) g kg<sup>-1</sup> MS. Considerando os resultados de perdas de MS, foram calculados o decréscimo de cada componente nutricional em relação a estes no momento do corte. Foram observadas perdas de MO (89,1  $\pm$  57,8 g kg<sup>-1</sup> MO), MM (131  $\pm$  68,7 g kg<sup>-1</sup> MM), PB (80,6  $\pm$  77,2 g kg<sup>-1</sup> PB), FDN (78,9  $\pm$  61,0 g kg<sup>-1</sup> FDN), FDA (67,7  $\pm$  64,0 g kg<sup>-1</sup> FDA), HEM (102  $\pm$  90,6 g kg<sup>-1</sup> HEM), CEL (73,6  $\pm$  60,6 g kg<sup>-1</sup> CEL); CSA (123  $\pm$  119 g kg<sup>-1</sup> CSA) e MS<sub>DIV</sub> (99,5  $\pm$  64,0 g kg<sup>-1</sup> MS<sub>DIV</sub>).

A Tabela 8 traz as perdas durante a secagem, comparando o efeito do tamanho de partícula da forragem desidratada artificialmente com o método tradicional de secagem a campo. Ao comparar a secagem no campo vs. no secador, observou-se diferença significativa para CSA ( $P = 0,003$ ) e MS<sub>DIV</sub> ( $P = 0,042$ ). Em relação as perdas de MS, o feno de partícula longa apresentou menores perdas (28,8 g kg<sup>-1</sup> MS), diferindo (SL vs. SC,  $P = 0,01$ ) do outro tratamento desidratado em secador (47,3 g kg<sup>-1</sup> MS). Consequentemente, o mesmo comportamento prevaleceu nas perdas de MO ( $P = 0,016$ ) e PB ( $P = 0,041$ ). Foi observado a mesma tendência sobre as perdas de MM e MS<sub>DIV</sub> ( $P = 0,051$ ). Apesar de não apresentar diferença ( $P > 0,10$ ), nos fenos secos a campo e no secador com partícula longa, as concentrações de HEM apresentaram acréscimo (-0,56 g kg<sup>-1</sup> HEM e -6,09 g kg<sup>-1</sup> HEM) ao longo da secagem.

A matéria seca perdida no período de emurchecimento + secagem apresentou diferença ( $P = 0,027$ ) entre os tratamentos, que refletiram nas perdas totais de MM, PB, FDN, HEM, CEL, CSA e MS<sub>DIV</sub>. Quando contrastado a secagem a campo vs. secador,

observou-se diferença nas perdas de HEM ( $P = 0,002$ ), CSA ( $P < 0,001$ ) e  $MS_{DIV}$  ( $P = 0,027$ ). Para as perdas de FDN, houve tendência ( $P = 0,083$ ) a diferir a secagem no campo com o secador (C vs. S). O impacto causado pelo tamanho de partícula sobre as perdas totais de MS ( $P = 0,013$ ) influenciou nas perdas totais de MO ( $P = 0,023$ ), MM ( $P = 0,01$ ), PB ( $P = 0,016$ ), FDN ( $P = 0,013$ ), FDA ( $P = 0,026$ ), CEL ( $P = 0,011$ ) e  $MS_{DIV}$  ( $P = 0,008$ ), sem efeito significativo para hemicelulose e carboidratos solúveis.

## Discussão

A diferença nos teores de MO entre tratamentos, após o período de emurchecimento no campo (Tabela 3), ocorre porque a forragem destinada ao secador foi enleirada e recolhida com vagão forrageiro, operações que aumentam as concentrações de MM na massa pela possível contaminação por solo (Schlegel *et al.*, 2018).

Comparando os teores de MS dos fenos em resposta a estratégia de secagem a campo vs. secador (Tabela 5), observou-se que o material obtido pela técnica tradicional apresentou maior umidade ( $P < 0,001$ ), pelo fato do material ficar exposto as condições ambientais até atingir valores mínimos de  $800 \text{ g kg}^{-1}$  de MS. O feno desidratado em secador com partícula curta (85 mm) apresentou maiores concentrações de MS (Tabela 5), diferindo do tratamento com partícula longa. Como não houve diferença na densidade da forragem colocada em cada célula, para cada tratamento, ao reduzir o tamanho de partícula, aumentou-se a superfície de contato acarretando na perda de água (Mears & Roberts, 1970).

Os valores de MO nos fenos, obtidos em cada tratamento, foram aproximadamente os mesmos, quando confrontados aos valores observados no emurchecimento (Tabelas 3 e 5). Ao analisar os teores de PB nos fenos dos diferentes tratamentos, observou-se que a concentração deste componente no feno desidratado a campo vai de encontro com a depleção dos CSA por causa da ocorrência de chuvas e do reumedecimento pela formação de orvalho durante a noite (Collins, 1985; Scarbrough *et al.*, 2005).

Nas frações fibrosas foram observadas diferenças apenas para FDA, LDA e HEM, com maiores concentrações para o feno produzido no campo pela degradação de compostos não estruturais. A ausência de diferença na fração FDN entre os tratamentos avaliados, pode ter se dado pela possível degradação de frações da hemicelulose por microrganismos durante a secagem no campo (Barr *et al.*, 1995).



Nos valores de DIVMS, observou-se redução no feno feito no campo, fato que acompanha a redução de CSA e incremento de LDA. Uma vez que os compostos solúveis são degradados de alguma forma, ocorre a concentração dos componentes fibrosos, que de forma associativa resultam na redução da digestibilidade (Rotz & Muck, 1994; Rotz, 1995a).

Ao analisar os parâmetros obtidos com a degradabilidade *in situ* (Tabela 7), observa-se que a Fração a (prontamente digestível) da MS foi superior no feno com partícula curta. Savoie *et al.* (1999) observaram que, à medida que se aumentou o tempo de emurchecimento, aumentou a Fração a da MS. Estes autores também explicam que essa variação entre as duas frações (a e b) são inversas, se uma aumenta a outra diminui.

As perdas de MS ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) e dos componentes nutricionais (Tabela 7) observadas durante a fase de emurchecimento são consideradas perdas por respiração, atividade microbiana e lixiviação, uma vez que não houve perda física de material. Rotz (1995b) cita que componentes nitrogenados e fibrosos podem ser perdidos na fase inicial das perdas de MS, no entanto são mínimas.

Avaliando o impacto de chuvas e condicionamento mecânico sobre perdas na colheita de alfafa, Rotz & Abrams (1988) observaram na fase de secagem no campo perdas na ordem de 112 a 32  $\text{g kg}^{-1}$ MS, 134 a 33  $\text{g kg}^{-1}$ MSd, 57 a -45  $\text{g kg}^{-1}$  PB, 7 a 19  $\text{g kg}^{-1}$  FDN, respectivamente para MS, MS digestível (MSd), PB, e FDN na forragem dos tratamentos que sofreram ou não o efeito de chuvas. Os autores relataram grande variabilidade entre as amostras utilizadas para calcular as perdas, possivelmente por erro amostral.

Um outro fator que pode vir causar flutuação nos resultados de perdas é a heterogeneidade entre as amostras ao longo do período experimental (Tabela 2). A variabilidade na composição botânica e nutricional da forragem no momento do corte é fator que explica as perdas de componentes fibrosos e nitrogenados no presente trabalho, uma vez que houve incremento nas concentrações de CSA de 9,66% (aproximadamente + 6,2  $\text{g kg}^{-1}$  MS).

Como discutido anteriormente, com a redução do tamanho de partícula ampliou-se a área de perda de água, o que impactou de forma positiva na secagem (Shepperson & Grundey, 1962). No entanto, resultou em maiores perdas de MS na fase de secagem (Tabela 8).

Apesar de não diferir estatisticamente ( $P > 0.05$ ) da forragem com partícula longa, entre o final do período de emurchecimento (Tabela 3) e no feno (Tabela 5), o tratamento

com partícula curta apresentou maior redução nas concentrações de CSA (6,03% longo vs. 9,38% curto), conforme observado também nas perdas calculadas de CSA (Tabela 8). A redução do tamanho de partícula possivelmente culminou no extravasamento de conteúdo celular, estimulando a proliferação microbiana que consumiu parte dos CSA (Roberts, 1995).

Observando algumas características da forragem emurchecida (Tabela 3), tais como a umidade de 441 g kg<sup>-1</sup> MS e menor tamanho de partícula, juntamente com as características do ambiente de secagem (Tabela 4), pode-se especular que houve maior desenvolvimento microbiano (Snow *et al.*, 1944; Albert *et al.*, 1989) no material de partícula curta, quando comparado com o material deixado em partícula longa.

Uma vez que, no decorrer da fase de secagem, as alterações nos teores de MO, PB, CSA e MS<sub>DIV</sub> não foram de grande magnitude nos fenos desidratados artificialmente, as perdas de MS impactaram nas perdas destes componentes (Tabela 8).

As perdas de CSA e MS<sub>DIV</sub> no campo, durante a etapa de secagem, ocorreram por possível lixiviação de compostos solúveis, respiração pela planta e atividade microbiana desencadeada pela ocorrência de chuvas e reumedecimento da forragem pela formação de orvalho (Collins, 1982; Macdonald & Clark, 1987; Barr *et al.*, 1995; Rotz, 1995b).

As perdas totais (Tabela 8) confirmam a resposta das perdas durante a secagem pós emurchecimento. Contudo, para calcular as perdas totais dos nutrientes, considerou-se a composição nutricional no momento do corte em relação ao feno obtido. Somando as perdas de MS durante o emurchecimento com as perdas de MS na secagem, observam-se as perdas ao longo de todo o processo de fenação, mostrando o impacto da redução do tamanho de partícula durante a desidratação em secadores.

Da mesma forma que as perdas de MS impactaram sobre as perdas dos demais componentes (MO, MM, PB, FDN, FDA CEL e DIVMS) na fase de secagem, assim ocorreu nos resultados de perdas totais. Carter (1960) apresentou perdas de MS e de PB em fenos curados no campo variando, respectivamente, entre 35 e 400 g kg<sup>-1</sup> MS, 243 e 510 g kg<sup>-1</sup> PB, enquanto para fenos secos em celeiros, as perdas foram de 34 a 210 g kg<sup>-1</sup> MS e 70 a 260 g kg<sup>-1</sup> PB. As perdas totais de MS no presente trabalho estão na faixa apresentada pelo autor e, as perdas de PB abaixo, provavelmente pelo fato de que neste estudo não foram observadas perdas de folhas (material com alta concentração de compostos nitrogenados).

Comparando diferentes tecnologias para produção de fenos, Kerr & Brown (1965) observaram perdas de MM em torno de  $241 \text{ g kg}^{-1}$  em fenos secos artificialmente e de  $114 \text{ g kg}^{-1}$  em fenos secos de maneira tradicional, nas condições de campo.

No presente estudo, as perdas totais de MS digestível ( $\text{MS}_{\text{DIV}}$ ) apresentaram diferença tanto na comparação campo *vs.* secador, como secador longo *vs.* secador curto. No primeiro contraste, observa-se que a forragem desidratada a campo apresentava em média uma DIVMS de  $629 \text{ g kg}^{-1}$  MS no momento do corte, e atingindo ao final do processo de conservação uma DIVMS de  $610 \text{ g kg}^{-1}$  MS. Ao contrastar os dois fenos secos de forma artificial, o material com partícula longa apresentou ao final da fenação DIVMS de  $624 \text{ g kg}^{-1}$  MS enquanto a forragem com partícula curta  $619 \text{ g kg}^{-1}$  MS.

Assim sendo, o uso de secadores para a produção de fenos realmente melhorou a qualidade da forragem ao final, em comparação a fenos desidratados a campo. Ao reduzir o tamanho de partícula ocorreu exposição de conteúdo celular, que junto com temperaturas elevadas e umidade, supostamente propiciou o desenvolvimento microbiano, acarretando em maiores perdas. Com isso, considerando as condições do presente estudo, não seria recomendado realizar o processamento do material em tamanho de partículas inferiores a 170 mm.

Estudos que avaliem a magnitude de presença e atividade microbológica na forragem, perante as operações aplicadas na produção dos fenos, fazem-se necessários para melhor entendimento das variações na qualidade do feno produzido. Maiores impactos sobre as perdas foram provenientes do período de emurchecimento

## Referências Bibliográficas

- Albert, R. A., Huebner, B. & Davis, L. W. (1989) Role of water activity in the spoilage of alfalfa hay. *Journal of dairy science*, **72**, 2573-2581.
- Arinze, E. A., Sokhansanj, S., Schoenau, G. J., Crerar, B. & Opoku, A. (1998) Design, experimental and economic evaluation of a commercial-type solar dryer for production of high-quality hay. *Drying technology*, **16**, 597-626.
- Arinze, E. A., Sokhansanj, S., Schoenau, G. J. & Trauttmansdorff, F. G. (1996) Experimental evaluation, simulation and optimization of a commercial heated-air batch hay drier: Part 1, drier functional performance, product quality, and economic analysis of drying. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **63**, 301-314. DOI: 10.1006/jaer.1996.0033
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1990) *Official methods of analysis*. Arlington, VI, USA: AOAC.
- Aufreere, J. (1982) Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de zootechnie*, **31**, 111-130.
- Barr, A. G., Smith, D. M. & Brown, D. M. (1995) Estimating forage yield and quality changes during field drying for hay 1. Model of dry-matter and quality losses. *Agricultural and forest meteorology*, **76**, 83-105.
- Carter, W. R. B. (1960) A review of nutrient losses and efficiency of conserving herbage as silage, barn-dried hay and field-cured hay. *Grass and Forage Science*, **15**, 220-230.
- Collins, M. (1982) The influence of wetting on the composition of alfalfa, red clover, and birdsfoot trefoil hay. *Agronomy Journal*, **74**, 1041-1044.
- Collins, M. (1985) Wetting effects on the yield and quality of legume and legume-grass hays 1. *Agronomy Journal*, **77**, 936-941.
- Ekechukwu, O. V. & Norton, B. (1999) Review of solar-energy drying systems ii: An overview of solar drying technology. *Energy Conversion & Management*, **40**, 615-655. DOI: 10.1016/S0196-8904(98)00093-4
- Jouin, C. (1961) Le séchage en grange. *Fourrages*, 121+165.
- Kerr, J. A. M. & Brown, W. O. (1965) A comparison of nutrient losses in baled hay made from forage-harvested, crimped or tedded swards with those in barn-drying. *Grass and Forage Science*, **20**, 156-163.
- Klinner, W. E. & Shepperson, G. (1975) The state of haymaking technology—a review. *Grass and Forage Science*, **30**, 259-266. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1975.tb01386.x
- Lila, M. (1977) Influence des modalités de séchage sur la mesure de la teneur des fourrages en éléments azotés et glucidiques. Conséquences lors des récoltes d'essais en champs. *Annales de l'amélioration des plantes*, **24**, 465-475.

- Macdonald, A. D. & Clark, E. A. (1987) Water and quality loss during field drying of hay. *Advances in agronomy*, **41**, 407-437.
- McCormick, M. E., Han, K. J., Moreira, V. R., Blouin, D. C. & Forbes, S. (2011) Forage conservation efficiency and lactation response to bahiagrass conserved as barn-stored hay, outdoor-stored hay, or baleage. *Journal of dairy science*, **94**, 2500-2507. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3796>
- McGechan, M. (1989) A review of losses arising during conservation of grass forage: Part 1, field losses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **44**, 1-21.
- Mears, D. R. & Roberts, W. J. (1970) Methods of accelerating forage drying. *Transactions of the ASAE*, **13**, 531-3.
- Mertens, D. R. (2002) Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *Journal of AOAC international*, **85**, 1217-1240.
- Moser, L. E. (1995) Post-harvest physiological changes in forage plants. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 1-19. Madison, WI, USA: CSSA & ASA, Inc.
- Ørskov, E. R. & McDonald, I. (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, **92**, 499-503. DOI: 10.1017/S0021859600063048
- Parish, O. O. & Putnam, T. W. (1977). *Equations for the determination of humidity from dewpoint and psychrometric data*. In: NASA Technical Note, Washington D.C., p. 23.
- Pelletier, S., Tremblay, G. F., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Pageau, D. & Drapeau, R. (2010) Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species. *Agronomy Journal*, **102**, 1388-1398. DOI:10.2134/agronj2010.0158
- Piper, C. V., Oakley, R. A., Vinall, H. N., Pieters, A. J., Morse, W. J., Spillman, W. J., Stine, O. C., Cotton, J. S., Collier, G. A., Cooper, M. R., Parker, E. C., Sheets, E. W. & Semple, A. T. (1924) Hay. *Yearbook of Agriculture*, 285-376.
- Rees, D. V. H. (1982) A discussion of source of dry matter loss during the process of haymaking. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **27**, 469-479. DOI: 10.1016/0021-8634(82)90085-3
- Resch, R., Adler, A. & Pötsch, E. M. (2014) Impact of different drying techniques on hay quality, In: Jambor V., Malá S., Vosynková B. and D. K. (eds). *Proceedings of the XVI International Symposium of Forage Conservation*, Brno, Czech Republic, June 3-6, 2014, pp. 27-38.
- Roberts, C. A. (1995) Microbiology of stored forages. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 21-38. Madison, WI: CSSA & ASA, Inc.

- Rotz, C. A. (1995a) Field curing of forage. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 39-66. Madison, WI: CSSA & ASA, Inc.
- Rotz, C. A. (1995b) Loss models for forage harvest. *Transactions of the ASAE*, **38**, 1621-1631.
- Rotz, C. A. & Abrams, S. M. (1988) Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage. *Transactions of the ASAE*, **31**, 350-0355.
- Rotz, C. A. & Muck, R. E. (1994) Changes in forage quality during harvest and storage. In: Fahey Jr G. C. (ed.) *Forage quality, evaluation, and utilization*, pp. 828-868. Madison: University of Nebraska.
- Savoie, P., Tremblay, G. F. & Petit, H. V. (1999) Ruminant degradability of alfalfa and corn after processing or maceration. *Canadian journal of animal science*, **79**, 361-368.
- Scarborough, D. A., Coblenz, W. K., Humphry, J. B., Coffey, K. P., Daniel, T. C., Sauer, T. J., Jennings, J. A., Turner, J. E. & Kellogg, D. W. (2005) Evaluation of dry matter loss, nutritive value, and in situ dry matter disappearance for wilting orchardgrass and bermudagrass forages damaged by simulated rainfall. *Agronomy Journal*, **97**, 604-614.
- Schlegel, P., Wyss, U., Arrigo, Y. & Hess, H. D. (2018) Changes in macro- and micromineral concentrations in herbage during the harvesting and conservation processes. *Grass and Forage Science*, **73**, 918-925. 10.1111/gfs.12382
- Shepperson, G. & Grundey, J. K. (1962) Recent developments in quick haymaking techniques. *Grass and Forage Science*, **17**, 141-149.
- Snow, D., Crichton, M. H. G. & Wright, N. C. (1944) Mould deterioration of feeding-stuffs in relation to humidity of storage: Part i. The growth of moulds at low humidities. *Annals of Applied Biology*, **31**, 102-110.
- VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S. & Goic, R. (2012) A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**, 2652-2670. 10.1016/j.rser.2012.01.007
- Wood, J. G. M. & Parker, J. (1971) Respiration during the drying of hay. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **16**, 179-191.

## Tabelas

Tabela 1. Estatística de calibração do NIRS para matéria mineral, fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), lignina em detergente ácido (LDA), proteína bruta (PB), carboidratos solúveis em água (CSA) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS)

Nutriente†	N	Média	DP	Min	Max	SEC	SECV	R <sup>2</sup>	RPD
MM	1235	10,72	3,07	4,29	24,62	0,77	0,80	0,92	3,85
PB	1527	16,07	4,90	4,63	30,94	0,67	0,69	0,98	7,09
FDN	1538	44,39	8,46	9,46	70,50	1,74	1,78	0,96	4,75
FDA	905	28,37	5,93	15,32	50,81	0,96	0,99	0,97	5,97
LDA	659	5,22	2,68	0,19	10,81	0,45	0,48	0,97	5,53
CSA	822	11,95	7,11	1,00	42,30	1,08	1,14	0,97	6,25
DIVMS	1653	70,60	9,94	30,42	92,90	2,28	2,32	0,94	4,28

†Expresso em % da MS; N: número de amostras analisadas; DP: Desvio padrão; SEC: Erro padrão da calibração; SECV; Erro padrão na validação cruzada; R<sup>2</sup>: coeficiente de regressão; RDP: razão entre DP e SECV.

Tabela 2. Composição botânica e nutricional dos relvados no momento dos cortes e características ambientais durante o período de emurchecimento (n, 85).

	Média	DP	Mínimo	Máximo
<i>Composição botânica (n, 8)</i>				
Alfafa (g kg <sup>-1</sup> MS)	600	158	404	805
Trevo branco (g kg <sup>-1</sup> MS)	2,33	4,35	0,00	10,3
Sainfoin (g kg <sup>-1</sup> MS)	27,1	22,6	0,00	62,1
Gramíneas (g kg <sup>-1</sup> MS)	218	54,3	167	334
Herbáceas (g kg <sup>-1</sup> MS)	152	138	9,00	379
<i>Composição nutricional (n, 17)‡</i>				
MS (g kg <sup>-1</sup> )	331	63,9	210	430
MO (g kg <sup>-1</sup> MS)	906	5,00	896	915
PB (g kg <sup>-1</sup> MS)	174	22,5	148	209
FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	411	34,8	367	493
FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	271	25,2	237	310
LDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	51,7	6,65	41,2	62,7
HEM (g kg <sup>-1</sup> MS)	139	17,2	113	183
CEL (g kg <sup>-1</sup> MS)	220	20,4	190	258
CSA (g kg <sup>-1</sup> MS)	63,8	16,1	42,3	92,9
DIVMS (g kg <sup>-1</sup> MS)	629	39,5	560	687
<i>Características ambientais (Emurchecimento – n, 85)§</i>				
Temperatura (°C)	19,8	5,42	11,9	34,2
UR (%)	73,1	16,7	22,0	92,0
VPD (Pa)	785	823	139	3554
UA (g H <sub>2</sub> O m <sup>-3</sup> ar)	12,2	2,05	6,90	16,2
VV (m s <sup>-1</sup> )	5,07	2,10	2,00	13,0
Precipitação total (mm)		13,50		

DP: desvio padrão; ‡ MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; LDA: lignina em detergente ácido; HEM: hemicelulose; CEL: celulose; CSA: carboidratos solúveis em água; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca; § UR: Umidade relativa; VPD: Déficit de pressão de vapor; UA: Umidade absoluta; VV: Velocidade do vento



Tabela 3. Composição nutritiva da forragem emurcheçada a campo (n, 78)

Item†	Campo	Secador		EP	P valor
		Longo	Curto		
MS	563	556	559	59,7	0,696
MO	911	908	909	2,6	0,004
PB	173	171	170	10,5	0,367
FDN	412	418	415	10,2	0,414
FDA	275	279	276	12,4	0,361
LDA	54,1	53,6	53,0	3,9	0,676
HEM	137	139	139	4,5	0,473
CEL	221	226	223	8,8	0,155
CSA	67,9	69,6	70,4	10,8	0,279
DIVMS	623	620	617	15,7	0,393

EP: erro padrão; † MS: matéria seca ( $\text{g kg}^{-1}$ ); MO: matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); PB: proteína bruta ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); FDN: fibra em detergente neutro ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); FDA: fibra em detergente ácido ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); LDA: lignina em detergente ácido ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); HEM: hemicelulose ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); CEL: celulose ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); CSA: carboidratos solúveis em água ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca ( $\text{g kg}^{-1}$  MS);

Tabela 4. Características do ambiente durante o período de secagem (n, 255)

Item†	Campo	Secador		EP	P valor
		Longo	Curto		
<i>Características ambientais (Segunda etapa de secagem)</i>					
Temp	19,2	24,7	25,0	1,2	<0,001
UR	71,0	51,6	50,9	3,1	<0,001
VPD	780	1598	1649	194	<0,001
UA	11,4	11,7	11,7	0,3	0,222
VV	4,8	0,3	0,3	0,2	<0,001

EP: erro padrão; † Temp: Temperatura (°C); UR: Umidade relativa (%); VPD: Déficit de pressão de vapor (Pa); UA: Umidade absoluta (g H<sub>2</sub>O m<sup>-3</sup> ar); VV: Velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>)

Tabela 5. Composição químico-bromatológica de fenos desidratados em diferentes estratégias de secagem (n, 105).

Item†	Campo	Secador		EP	P valor	Contraste‡	
		Longo	Curto			C vs S	SL vs SC
MS	818	876	891	10,7	< 0,001	< 0,001	0,026
MO	911	909	910	3,2	0,024	0,073	0,037
PB	175	172	170	12,6	< 0,01	< 0,01	0,286
FDN	424	423	422	11,1	0,762	0,611	0,594
FDA	286	280	281	14,0	0,029	< 0,01	0,824
LDA	58,7	53,3	54,3	3,8	< 0,001	< 0,001	0,313
HEM	138	143	141	4,0	0,031	0,016	0,297
CEL	228	227	227	10,2	0,863	0,611	0,849
CSA	53,6	65,4	63,8	9,6	< 0,001	< 0,001	0,471
DIVMS	610	624	619	21,6	< 0,001	< 0,001	0,197

EP: erro padrão; † MS: matéria seca ( $\text{g kg}^{-1}$ ); MO: matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); PB: proteína bruta ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); FDN: fibra em detergente neutro ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); FDA: fibra em detergente ácido ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); LDA: lignina em detergente ácido ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); HEM: hemicelulose ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); CEL: celulose ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); CSA: carboidratos solúveis em água ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca ( $\text{g kg}^{-1}$  MS); ‡ comparações de médias por contrastes em que C vs. S: campo vs. Secador e, SL vs. SC: longo vs. curto

Tabela 6. Parâmetros da degradabilidade *in situ* da MS de fenos desidratados em diferentes estratégias de secagem.

Item†	Campo	Secador		EP	P valor	Contraste‡	
		Longo	Curto			C vs S	SL vs SC
Fração <i>a</i>	32,7	31,4	32,9	1,13	0,030	0,323	0,013
Fração <i>b</i>	46,0	47,4	45,3	1,40	0,032	0,596	0,011
kd	0,0779	0,0835	0,0836	0,01	0,498	0,245	0,987
DE <sub>4</sub>	62,8	63,3	63,4	1,75	0,493	0,243	0,916
DE <sub>8</sub>	55,1	55,5	55,9	1,71	0,534	0,334	0,583
DE <sub>12</sub>	50,6	50,8	51,4	1,61	0,520	0,423	0,419

†Fração *a*: fração prontamente solúvel no rúmen (% MS); Fração *b*: fração potencialmente digestível no rúmen (% MS); kd: taxa de degradação (h<sup>-1</sup>), DE<sub>4</sub>: degradabilidade efetiva à taxa de passagem de sólidos de 4%; DE<sub>8</sub>: degradabilidade efetiva à taxa de passagem de sólidos de 8%; DE<sub>12</sub>: degradabilidade efetiva à taxa de passagem de sólidos de 12%; ‡ comparações de médias por contrastes em que C vs. S: campo vs. secador e, SL vs. SC: longo vs. curto

Tabela 7. Perdas não mecânicas de MS e demais componentes durante a etapa de emurchecimento no campo, dados expressos em g kg<sup>-1</sup> (n, 20)

Item†	Média	DP	Min	Máx
MS (g kg <sup>-1</sup> MS)	93,1	57,2	6,42	200
MO (g kg <sup>-1</sup> MO)	89,1	57,8	4,41	199
MM (g kg <sup>-1</sup> MM)	131	68,7	24,5	275
PB (g kg <sup>-1</sup> PB)	80,6	77,2	-18,5	248
FDN (g kg <sup>-1</sup> FDN)	78,9	61,0	-9,90	207
FDA (g kg <sup>-1</sup> FDA)	67,7	64,0	-11,6	197
HEM (g kg <sup>-1</sup> HEM)	102	90,6	-33,7	307
CEL (g kg <sup>-1</sup> CEL)	73,6	60,6	-8,44	191
CSA (g kg <sup>-1</sup> CSA)	123	119	-66,1	379
MS <sub>DIV</sub> (g kg <sup>-1</sup> MS <sub>DIV</sub> )	99,5	69,2	10,6	222

DP: desvio padrão; † MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; MM: matéria mineral; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; HEM: hemicelulose; CEL: celulose; CSA: carboidratos solúveis em água; MS<sub>DIV</sub>: MS digestível (*in vitro*).

Tabela 8. Perdas na secagem e totais (emurhecimento + secagem) mensuradas durante a secagem em diferentes estratégias, dados expressos em g kg<sup>-1</sup> (n, 78)

Item †	Campo	Secador		EP	P valor	Contraste‡	
		Longo	Curto			C vs S	SL vs SC
<i>Perdas na secagem</i>							
MS	44,7	28,8	47,3	5,14	0,020	0,275	0,010
MO	45,2	27,7	45,5	5,26	0,022	0,167	0,016
MM	40,7	39,6	65,5	13,9	0,087	0,295	0,051
PB	34,6	18,7	48,6	20,9	0,121	0,941	0,041
FDN	25,4	15,0	32,1	10,4	0,381	0,862	0,169
FDA	36,1	24,6	36,5	10,8	0,603	0,636	0,376
HEM	-0,56	-6,09	22,3	15,5	0,396	0,650	0,200
CEL	39,3	23,7	36,3	12,1	0,455	0,416	0,341
CSA	191	83,0	103	71,0	0,011	0,003	0,581
MS <sub>DIV</sub>	50,8	20,2	42,0	13,7	0,020	0,042	0,051
<i>Perdas Totais</i>							
MS	130	114	132	24,1	0,027	0,298	0,013
MO	125	110	128	25,1	0,051	0,370	0,023
MM	176	145	175	21,4	0,010	0,104	0,010
PB	117	111	143	22,9	0,035	0,351	0,016
FDN	101	74,5	98,2	37,8	0,011	0,083	0,013
FDA	88,5	81,6	104	29,5	0,073	0,611	0,026
HEM	124	63,2	88,5	62,7	0,004	0,002	0,148
CEL	102	78,4	103	27,8	0,016	0,169	0,011
CSA	275	155	167	61,0	<0,001	<0,001	0,681
MS <sub>DIV</sub>	148	117	142	31,2	0,003	0,027	0,008

EP: erro padrão; † MS: matéria seca (g kg<sup>-1</sup>MS); MO: matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>MO); MM: matéria mineral (g kg<sup>-1</sup>MM); PB: proteína bruta (g kg<sup>-1</sup>PB); FDN: fibra em detergente neutro (g kg<sup>-1</sup>FDN); FDA: fibra em detergente ácido (g kg<sup>-1</sup>FDA); HEM: hemicelulose (g kg<sup>-1</sup>HEM); CEL: celulose (g kg<sup>-1</sup>CEL); CSA: carboidratos solúveis em água (g kg<sup>-1</sup>CSA); MS<sub>DIV</sub>: MS digestível (*in vitro*) (g kg<sup>-1</sup>MS<sub>DIV</sub>); ‡: comparações de médias por contrastes em que C vs. S: campo vs. Secador e, SL vs. SC: longo vs. curto

## V - IMPACTO DO HORÁRIO DE CORTE E TEMPO DE ARMAZENAMENTO SOBRE O VALOR NUTRICIONAL DE FENOS DE GRAMA-ESTRELA AFRICANA

(**Normas:** Grass and Forage Science)

**Resumo** O objetivo neste trabalho foi avaliar o efeito do horário de corte sobre a composição nutricional da grama-estrela africana (*Cynodon* spp) durante o processo de fenação (corte, enfardamento e armazenamento) e o comportamento de secagem. Como um dos fatores a ser avaliado, a forragem foi ceifada em dois horários do dia, às 13h (H13) e às 17h (H17). Ao longo do período de desidratação a secagem foi monitorada até o momento do enfardamento. As amostras coletadas no momento do enfardamento foram consideradas como tempo zero de armazenamento. Após o enfardamento, os fardos foram armazenados por 30, 60, 90 e 120 dias. No momento do corte, observou-se diferença significativa apenas para as concentrações de CSE. Observou-se diferença apenas na taxa de desidratação ( $k$ ) da fração folha. Não houve diferença significativa do horário de corte sobre o valor nutricional do feno. Os períodos de armazenamento impactaram significativamente sobre as concentrações de MS, FDN, FDA, SDN, CNF e CSE. Observou-se efeito quadrático em todos estes parâmetros. Ao final, o corte ao final da tarde (H17) aumentou os CSE no momento do corte, entretanto o tempo de armazenamento imprimiu efeito depletivo sobre o valor nutricional do feno. Concluiu-se que não houve influência do horário de corte sobre a composição nutricional dos fenos e que, o valor nutricional da forragem foi impactado pelo tempo de armazenamento, com a redução da digestibilidade.

**Palavras-chave** acúmulo, carboidratos solúveis, depleção, estocagem, fenação

## IMPACT OF THE TIME CUT AND STORAGE ON NUTRITIONAL VALUE OF AFRICAN STAR GRASS HAY

**Abstract** The aim of this study was to evaluate the cut time on nutritional composition of african star grass (*Cynodon* spp) under haymaking process (mow, baling and storage), and drying behavior. As one factor to be evaluated between to, the meadow forage was mowed at two different times of day, at 1300 (H13) and 1700 h (H17). On course of the dehydration period, the drying was monitored until baling. The samples collected at baling moment were considered as zero storage time. After baling, bales were stored for 30, 60, 90 and 120 days. At mowing moment was noted significant difference just on ESC concentration. It was seen difference only in leaf dehydration rate ( $k$ ). There was no difference on cut time under hay nutritional value. The storage periods influenced significantly on DM, NDF, ADF, NDS NFC and ESC concentration. It was noted quadratic effect on all these parameters. On the end, the late cut (H17) increased ESC at mowing moment, however storage time forcing a depletive effect on hay nutritional value. It was concluded that there was no effect of the mow time on nutritional hay composition and, the forage nutritional value was impacted by storage time with digestibility decrease.

**Key words** accumulation, soluble carbohydrate, depletion, stock, haymaking

### Introdução

Ao longo do dia a luz solar atua diretamente na capacidade fotossintética das plantas potencializando a fixação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), convertendo o gás de efeito estufa em carboidrato (Taiz *et al.*, 2015). Uma vez fixado em forma de carboidrato pelas plantas forrageiras o  $\text{CO}_2$  poderá ser convertido em produtos de origem animal (van Soest, 1994). As primeiras moléculas produzidas pela planta por meio da fotossíntese são carboidratos simples como a glicose e frutose, os quais posteriormente serão complexados na forma de sacarose, amido e frutanas (Holt & Hilst, 1969; Knapp *et al.*, 1973; Pelletier *et al.*, 2010).

Prorrogar o corte da planta forrageira para o final da tarde é uma forma de aumentar as concentrações dos carboidratos altamente digestíveis (e.g. carboidratos não fibrosos – CNF; NRC, 2001). Uma vez acumuladas estas substâncias, a fração fibrosa é



diluída na massa de forragem, acarretando aumento na digestibilidade desta (Burner & Belesky, 2004; Guo *et al.*, 2015; De Oliveira *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o manejo do pastejo em diferentes horas do dia tem se apresentado como ferramenta para melhorar o desempenho animal. Em avaliação com ovinos, Orr *et al.* (1997) observaram aumento linear na ingestão de matéria seca (IMS), ligado à concentração de carboidratos solúveis em água (CSA) e amido em pastagens de azevém (*Lolium perenne* L.) e trevo branco (*Trifolium repens* L.). Também Vasta *et al.* (2012), concluíram que cordeiros pastejando em azevém à tarde, apresentaram na carne perfil de ácidos graxos (AG) rico em ácido linoleico conjugado, desejável para boa saúde humana. Em avaliação com vacas leiteiras em final de lactação, Vibart *et al.* (2017) observaram pequena diferença na produção e nas concentrações de gordura e proteína do leite quando os animais pastejaram em azevém à tarde.

Aplicando esta estratégia para a produção de forragens conservadas, o corte tardio pode ser uma forma para reduzir componentes fibrosos e aumentar a digestão da forragem, podendo conservar mais nutrientes. Owens *et al.* (1999) trabalhando com silagens de trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) e alfafa (*Medicago sativa* L.) concluíram que prorrogando o horário de corte até ao final do dia ocorre aumento em CNE, que proporciona maior produção de ácido lático. Brito *et al.* (2016) também observaram que a silagem convencional e silagem pré-secada de capim-timóteo (*Phleum pratense* L.) colhidas à tarde apresentaram maiores concentrações de CSA e CNE, aumentando a IMS e a produção de leite corrigido a 4%.

Segundo Fisher *et al.* (1999), o acúmulo de CNE pelas plantas por meio da fotossíntese aumenta a ingestão e a preferência do feno pelos ruminantes. Os autores observaram este comportamento em feno de festuca alta (*Festuca arundinacea* L.) ceifado ao pôr do sol em comparação com o feno feito a partir da forragem ceifada na manhã do dia seguinte. Embora não haja impacto da fermentação anaeróbica sobre as concentrações de CNE como em forragens fermentadas, na fenação a respiração da planta e a atividade da microflora epifítica estão presentes durante o período de desidratação (Rotz & Muck, 1994; Moser, 1995).

A estratégia de ceifar as plantas ao final do período luminoso, visando o acúmulo máximo de CNE ao longo do dia, foi amplamente estudada para a produção de fenos de alfafa (Fisher *et al.*, 2002; Burns *et al.*, 2005; Burritt *et al.*, 2005; Burns *et al.*, 2007). Observou-se nestes estudos que as concentrações dos fotoassimilados permaneceram superiores nos fenos ceifados ao final do dia. No entanto, a literatura consultada não

contempla estudos dessa natureza com forrageiras de clima tropical, especialmente nas condições brasileiras.

Um outro fator que influencia diretamente sobre a qualidade dos fenos é o período de estocagem, uma vez que pode ocorrer a ação de microrganismos e reações oxidativas, depreciando principalmente compostos solúveis (Rotz & Muck, 1994; Turner *et al.*, 2002; Castagnara *et al.*, 2011; Coblenz *et al.*, 2013; Sunahara *et al.*, 2017).

Partindo destes pressupostos, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do horário de corte sobre o comportamento de desidratação da grama-estrela, bem como o valor nutricional do feno ao longo do armazenamento.

## **Material e Métodos**

### *Manejo do campo*

Em 22 de julho de 2016, uma área com grama-estrela (*Cynodon* spp) de 5500 m<sup>2</sup> foi ceifada após 60 dias de rebrota em dois diferentes horários. A área utilizada está localizada na Fazenda Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá. Buscando melhor homogeneidade na coleta de dados, o campo de feno foi dividido em cinco blocos experimentais.

A disponibilidade de massa de forragem foi estimada por meio de amostragem destrutiva, precedendo o corte. As amostras foram coletadas rente ao solo em dez diferentes pontos (dois por bloco) com o uso de um quadrado de metal (0,25 m<sup>2</sup>) e tesoura de jardinagem. Para melhor caracterizar a forragem disponível foi realizada composição morfológica, em que uma amostra composta (aproximadamente 500 g) foi separada em folha, colmo e material morto. Após separação, uma amostra intacta e as demais fragmentadas foram secas em estufa de ventilação forçada a 55°C até peso constante. A massa de forragem estimada foi de 6,6 ton ha<sup>-1</sup> MS, com 402,2 ± 39,4 g kg<sup>-1</sup> MS de folhas, 533,0 ± 42,0 g kg<sup>-1</sup> MS de colmo e, 64,8 ± 25,9 g kg<sup>-1</sup> MS de material morto.

Na locação dos tratamentos, a forragem foi ceifada aproximadamente a 5 cm acima da superfície do solo, com segadora de discos sem sistema de condicionamento (AT 9165, Agritech, Indaiatuba, Brasil). Os tratamentos foram compostos pelo corte realizado às 13h (H13) ou às 17h (H17) horas, obtendo-se aproximadamente seis e dez horas de luminosidade, respectivamente.

Às 13h do dia seguinte ao corte, a forragem foi revolvida com o uso de um ancinho configurado para espalhar. Devido as condições meteorológicas predominantes e

avaliações durante o período de secagem, foi considerado que apenas uma operação de revolvimento da forragem era suficiente.

No quarto dia após o corte, com o auxílio de um medidor de umidade (F-2000, Delmhorst Instruments Co., Towaco, EUA), foi observado por volta das 13h que a forragem apresentava umidade em torno de 180 g. kg<sup>-1</sup> de MS. Ao atingir a umidade desejada para o enfardamento a forragem foi enleirada e acondicionada em fardos prismáticos (aproximadamente 12 kg; enfardadora AP 41N, Nogueira, Itapira, Brasil), que foram identificados de acordo com o tratamento (H13 ou H17).

### *Comportamento de secagem*

Para demonstrar o comportamento real ao longo do período de secagem, construiu-se uma curva de desidratação da massa de forragem a campo. Foram coletadas cinco amostras por tratamento (uma por bloco) como subsídio para a confecção da curva de desidratação, conforme o itinerário descrito no parágrafo abaixo.

Primeiro dia de secagem (D1): momento do corte; duas e seis horas após o corte (esta última apenas para H13). Dias seguintes (D2 e D3): as forragens foram amostradas às 08, 11, 14 e às 17 horas. Último dia (D4): as amostras foram coletadas de forma semelhante ao dia anterior até as 14h, horário que iniciou o enfardamento.

Para observar a representatividade dos componentes morfológicos folhas e colmo no comportamento de desidratação da planta inteira, uma subamostra por bloco foi fragmentada nestas frações. Imediatamente após a coleta e separação, as amostras foram secas em estufa a 55°C para determinação de MS.

Pelo fato de apresentarem diferentes horários de corte, a melhor forma de comparar as curvas de desidratação foi através da determinação da taxa fracional de desidratação ( $k$ ), dada em porcentagem por hora (% h<sup>-1</sup>). Para obtenção de  $k$ , foram utilizados os valores de umidade (em g kg<sup>-1</sup> MS) das amostras de planta inteira, folha e colmo em quatro diferentes momentos: na hora do corte; às 17h do D2 e D3 e, no momento do enfardamento às 14h do D4. Os valores de umidade foram transformados em logaritmo natural (ln), por bloco, e determinadas equações lineares, e as taxas fracionais de desidratação ( $k$ ) foram estimadas pelos valores da inclinação da curva.

### *Armazenamento*

No momento do enfardamento três amostras da forragem foram coletadas aleatoriamente na leira e encaminhadas à estufa para determinação de MS. As amostras

tomadas no momento do enfardamento foram consideradas como tempo zero de armazenamento. Doze fardos de cada tratamento foram selecionados aleatoriamente e estocados em galpão durante 30, 60, 90 e 120 dias. O galpão onde foram estocados os fardos apresentava piso em concreto, pé direito de 4 m com cobertura de telhas e laterais abertas. As pilhas de fardos foram alocadas no centro do galpão a fim de evitar a exposição à chuva. Os fardos foram dispostos sobre *pallets* para evitar o contato direto com o piso, sendo uma pilha de fardo por tratamento.

Os dados meteorológicos do período experimental (temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar e precipitação) estão apresentados na Figura 1. A cada tempo de amostragem, três fardos foram sorteados aleatoriamente e moídos por inteiro (Moinho-Martelo 30 cv, Pereira Máquinas Agrícolas, Londrina, Brasil) passando por peneira com crivo de 5 mm. Após a moagem todo o material foi homogeneizado e uma amostra representativa foi coletada e encaminhada ao laboratório. Para determinação de MS total, ainda a 5 mm, uma subamostra (3 g) por repetição foi seca a 105°C por doze horas.

#### *Análises laboratoriais*

Para avaliar o impacto do horário de corte sobre a qualidade da forragem e as alterações durante o armazenamento foram analisadas amostras do momento do corte (forragem verde), do enfardamento e, do decorrer dos períodos de estocagem.

Após secagem em estufa de ventilação forçada todas as amostras foram moídas com moinho de facas a 1 mm e armazenadas em potes com tampa. As análises foram realizadas de acordo com AOAC (1990) para proteína bruta (PB; procedimento no. 984.13), extrato etéreo (EE; 920.39), cinzas (942.05) e, MS total usando procedimento 930.15. Para determinação de fibra em detergente neutro (FDN) não foi realizado a adição de sulfito e amilase termoestável, e fibra em detergente ácido (FDA) analisada de forma sequencial ao FDN, ambas seguindo metodologia proposta por Goering & van Soest (1979). Os carboidratos solúveis em etanol (CSE) foram obtidos por extração em solução de etanol 800 mL L<sup>-1</sup> de acordo com Hall *et al.* (1999). A digestibilidade *in vitro* da MS foi determinada usando metodologia proposta por Tilley & Terry (1963) adaptada para rúmen artificial (Holden, 1999).

Os valores de matéria orgânica (MO) foram calculados usando os valores de cinzas, em que 1000 – cinzas (g kg<sup>-1</sup> MS) é igual a MO. A hemicelulose (Hem) foi obtida pela diferença FDN – FDA. Os componentes solúveis em detergente neutro (SDN) foram

obtidos conforme cálculo proposto por van Soest (1994). Para calcular os carboidratos não fibrosos ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) foi utilizada a equação proposta pelo NRC (2001), sendo  $\text{CNF} = 1000 - (\text{FDN} + \text{EE} + \text{PB} + \text{cinzas})$ .

### *Análises estatísticas*

O impacto do horário sobre a qualidade da forragem no momento do corte e os valores de  $k$  (planta inteira, folha e colmo) foi analisado utilizando um delineamento em blocos inteiramente ao acaso por meio de modelos mistos (PROC MIXED, SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), considerando os efeitos do tratamento como efeito fixo e do bloco como aleatório (RANDOM). As médias foram consideradas diferentes estatisticamente quando apresentaram valor de  $P < 0,05$ .

Para comparar o efeito da hora de corte e do período de armazenamento foi utilizado delineamento experimental inteiramente ao acaso em esquema fatorial com medida repetida no tempo (PROC MIXED). Para efeito do horário de corte (C), as médias foram comparadas por teste F a 5% de significância, considerando tendência de resposta ( $0,05 > P < 0,10$ ). Para os efeitos de período armazenamento (A) ou de interação (C x A), os dados foram comparados por contrastes ortogonais (lineares e quadráticos). Quando observado efeito de contraste, utilizou-se o PROC REG para estimação das equações de regressão, considerando o maior coeficiente de regressão ( $r^2$ ) e menor erro médio quadrático (RMSE).

## **Resultados**

Apenas os teores de CSE apresentaram diferença significativa no momento do corte (Tabela 1), em que a forragem ceifada às 17 horas (H17) apresentou a concentração 71 % superior ( $90,3 \pm 27,6$  vs.  $52,9 \pm 12,3$  g) em relação com o corte realizado às 13 horas (H13).

A Figura 2 apresenta a curva de desidratação real, obtida com as amostras de planta inteira (Figura 2A) e das frações folha e colmo (Figuras 2B e 2C, respectivamente) ao longo do período de secagem. A taxa fracional de desidratação ( $k$  – Figura 3) para planta inteira foi de  $1,68 \pm 0,17\% \text{ h}^{-1}$  para H13 e de  $1,71 \pm 0,26\% \text{ h}^{-1}$  para H17, não havendo diferença ( $P > 0,05$ ). O  $k$  da fração colmo também não apresentou significância ( $P > 0,05$ ), com valores de  $1,33 \pm 0,29$  e  $1,07 \pm 0,15\% \text{ h}^{-1}$ , respectivamente para H13 e

H17. Para a fração folha, observou-se que H17 apresentou maior  $k$  em relação ao H13 ( $2,60 \pm 0,21$  vs.  $2,36 \pm 0,34$  %  $h^{-1}$ ,  $P < 0,05$ ).

Não foi observado efeito do horário de corte (C - Tabela 2) sobre os teores de MS, FDN, FDA, SDN, CNF e CSE ( $P > 0,05$ ). Para as concentrações de MS, observou-se valores médios de  $881,4 \pm 41,9$  vs.  $881,2 \pm 43,6$  g  $kg^{-1}$  - respectivamente para H13 e H17. As concentrações médias de FDN e FDA para H13 foram de  $747,20 \pm 20,7$  e  $364,6 \pm 20,8$  g  $kg^{-1}$  MS, e de  $744,7 \pm 21,9$  e  $362,1 \pm 18,8$  g  $kg^{-1}$  MS em H17.

Os compostos solúveis em detergente neutro (SDN) apresentaram teores médios de  $186,2 \pm 20,0$  g  $kg^{-1}$  MS no corte realizado às 13h e  $183,7 \pm 26,9$  g  $kg^{-1}$  MS no material ceifado às 17:00. O horário de corte também não influenciou sobre as concentrações médias de carboidratos não fibrosos - CNF ( $83,6 \pm 23,0$  g  $kg^{-1}$  MS para H13 vs.  $70,5 \pm 39,8$  g  $kg^{-1}$  MS em H17).

O tratamento ceifado as 13h tendeu a apresentar maior concentração de MO ( $P = 0,09$ ), quando comparado com o tratamento ceifado ao final da tarde (H17), sendo os valores médios de  $934,1 \pm 6,4$  vs.  $928,4 \pm 7,8$  g  $kg^{-1}$  MS, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado sobre os valores médios de CSE ( $P = 0,06$ ), em que H13 apresentou concentração de  $41,5 \pm 10,4$  g  $kg^{-1}$  MS, superior à H17 ( $30,7 \pm 16,9$  g  $kg^{-1}$  MS)

Ao avaliar os efeitos dos períodos de armazenamento (A – dado em dias) sobre a composição nutricional dos fenos, observou-se efeito significativo para os teores de MS, FDN, FDA, SDN, CNF e CSE.

Através dos contrastes ortogonais constatou-se que a concentração de MS teve comportamento linear ( $P < 0,001$ ) e quadrático ( $P < 0,001$ ), e a equação que apresentou maior  $R^2$  e menor RMSE para descrever o efeito do armazenamento sobre a MS foi: MS (g  $kg^{-1}$ ) =  $809,80190 (\pm 5,09238) + 2,3296 (\pm 2,32960) * A - 0,01264 (\pm 0,00161) * A^2$ , obtendo um  $R^2 = 0,91$  com RMSE = 13,25.

O período de armazenamento impôs, sobre os valores de fibra em detergente neutro (FDN), efeito linear ( $P < 0,01$ ) e quadrático ( $P < 0,05$ ). A equação que melhor ajustou foi: FDN (g  $kg^{-1}$  MS) =  $721,48190 (\pm 6,33795) + 0,87598 (\pm 0,025026) * A - 0,00513 (\pm 0,002) * A^2$  (RMSE=16,50;  $R^2=0,43$ ).

O mesmo comportamento foi observado no resultado de fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), exibindo  $P < 0,01$  e  $P < 0,05$  nas comparações por contraste ortogonais (linear e quadrático, respectivamente) na fase armazenamento, constatando

menor RMSE (14,68) e maior  $R^2$  (0,47) para a equação FDA ( $\text{g kg}^{-1} \text{MS}$ ) =  $339,34 (\pm 5,63895) + 0,78894 (\pm 0,22266) * A - 0,00432 (\pm 0,00178) * A^2$ .

Ao contrário dos teores de MS, FDN e FDA, que apresentaram incremento, os componentes solúveis em detergente neutro, CNF e CSE foram reduzidos ao longo da estocagem. A depleção dos SDN pode ser expressa pela equação SDN ( $\text{g kg}^{-1} \text{MS}$ ) =  $213,9 (\pm 6,746) - 0,99537 (\pm 0,266) * A + 0,0057 (\pm 0,00213) * A^2$  (RMSE = 17,56 e  $R^2 = 0,47$ ). As comparações das médias por contrastes ortogonais apresentaram efeito linear ( $P < 0,01$ ) e quadrático ( $P < 0,05$ ).

O efeito do tempo de armazenamento sobre as concentrações de carboidratos não fibrosos apresentou efeito linear ( $P < 0,01$ ) e quadrático ( $P < 0,05$ ) nos respectivos contrastes. A equação para demonstrar o declínio dos teores de CNF que melhor se ajustou apresentou RMSE = 26,45 e um  $R^2 = 0,39$ , sendo: CNF ( $\text{g kg}^{-1} \text{MS}$ ) =  $113,97 (\pm 10,16369) - 1,43221 (\pm 0,40133) * A + 0,00908 (\pm 0,00321) * A^2$ .

Ao contrário das demais variáveis resposta, os carboidratos solúveis em etanol apresentaram, nas comparações por contrastes ortogonais, efeito linear ( $P < 0,01$ ) com tendência à quadrática ( $P < 0,10$ ). No entanto, a equação quadrática apresentou menor RMSE (12,85) e maior  $R^2$  (0,30) para depleção dos CSE ao curso do armazenamento, sendo: CSE ( $\text{g kg}^{-1} \text{MS}$ ) =  $50,65095 (\pm 4,93525) - 0,46295 (\pm 0,19487) * A + 0,00245 (\pm 0,00156) * A^2$ .

Os horários de corte e os tempos de armazenamento não imprimiram diferença significativa ( $P > 0,10$ ) sobre as variáveis PB ( $94,0 \pm 18,7 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ), EE ( $13,9 \pm 1,8 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ), hemicelulose ( $383,0 \pm 11,5 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ) e DIVMS ( $581,3 \pm 39,9 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ). Não houve efeito de interação entre os dois fatores para nenhum dos parâmetros pesquisados no presente estudo.

## Discussões

As concentrações de carboidratos solúveis em etanol superiores para o corte realizado às 17h ( $37,4 \text{ g kg}^{-1} \text{MS}$ ) foi uma resposta atribuída ao horário de corte, pela fixação de  $\text{CO}_2$  atmosférico pela planta (Taiz *et al.*, 2015). Lechtenberg *et al.* (1973) justificam que em plantas C4 esse acúmulo é resultado da fixação e assimilação maior que as exigências da planta.

Na busca em compreender melhor o efeito da temperatura sobre a respiração, fotorrespiração e fotossíntese em plantas superiores, Hofstra & Hesketh (1969)

observaram a ausência de respiração e aumento na taxa fotossintética em folhas de milho (*Zea mays* L.) durante exposição à luminosidade, que caracterizou assimilação do CO<sub>2</sub> sob exposição a luz. Os mesmos autores também notaram que houve incremento na concentração de CO<sub>2</sub> a medida que a temperatura aumentava no escuro, comprovando o gasto de parte do carbono fixado durante o dia.

Em experimento com *Panicum maximum*, Brown & Morgan (1980) observaram a evolução (liberação) dos níveis de CO<sub>2</sub> apenas quando mensurado no escuro (2,4 mg dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). Também observaram que as concentrações de dióxido de carbono caíram próximo ao zero quando a folha foi avaliada em luminosidade PAR de 100 µE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, e mantendo-se ao mesmo nível até 2000 µE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Com relação ao efeito do horário de corte sobre a desidratação da planta, assim como no presente trabalho, Burns *et al.* (2005) não observaram diferença para o momento do enfardamento do feno de alfafa, com cortes ao final do dia ou ao início da manhã.

Dentre os componentes morfológicos da planta ao final do período de desidratação, a fração colmo no tratamento ceifado às 17 horas (H17) apresentou maior umidade (358,8 ± 44,9 g kg<sup>-1</sup> MS) em relação ao ceifado às 13 horas (H13 - 267,3 ± 53,7 g kg<sup>-1</sup> MS), consequência de uma taxa de desidratação (*k*) inferior, conforme observado nas Figuras 2C e 3C. O tratamento ceifado às 17 horas ficou menos tempo em exposição à radiação solar para perda inicial de água, além de que a taxa de perda de água do colmo é inferior em comparação com a folha (Jones & Prickett, 1981).

Ao contrário da fração colmo, as folhas no corte H17 eliminaram maior quantidade de água por hora, chegando ao final do período de secagem com umidade semelhante ao tratamento ceifado às 13h (100,3 ± 30,4 vs. 102,7 ± 18,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente; P > 0,10). As Figuras 2B e 3B ilustram esse equilíbrio entre os horários de corte.

A principal influência na concentração de CSE se dá pela respiração da planta após o corte, tendo em vista que assim que a planta é ceifada ocorre o fechamento parcial dos estômatos, impossibilitando a planta de fazer fotossíntese e iniciando a fase de respiração. Clark *et al.* (1977) observaram em folhas de azevém italiano (*Lolium multiflorum* Lam.) o fechamento parcial dos estômatos 15 minutos após o corte, proporcionando queda na transpiração, na fotossíntese líquida e desencadeando uma fotossíntese líquida negativa (respiração) 40 minutos após a secção da planta.

Uma vez iniciada a fase de desidratação, o material começa, então, a respirar os CS e a perder água. Considerando que o material ceifado continua vivo até atingir cerca



de 40% de umidade (Rotz & Muck, 1994), as plantas ceifada às 13h respiraram aproximadamente 28 horas (17h D2 – Figura 2A), quando atingiram a umidade de  $350,8 \pm 50,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ . As plantas ceifadas às 17h respiraram aproximadamente 45 horas (14h D3), e observou-se umidade de  $335,8 \pm 28,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ . Isto pode explicar o motivo pelo qual a forragem ceifada às 13h apresentou  $98,5 \pm 16,3 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  de CSE no momento do corte (Tabela 1), atingindo  $46,1 \pm 5,4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  no enfardamento (Tabela 2), enquanto o corte das 17h apresentou  $112,0 \pm 19,4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  e  $53,2 \pm 8,7 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  de CSE, respectivamente. Vale ressaltar que, além da respiração da planta, pode ocorrer também a depleção de CSE pela ação de microrganismos (Rotz, 1995), o que não foi avaliado neste estudo.

Mesmo com maior umidade na fração colmo, que representou  $533,0 \pm 42,0 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ , ambos os materiais (H13 e H17) foram enfardados com teores de MS acima de  $800 \text{ g kg}^{-1}$ , conforme recomendado pela literatura (Rees, 1982; Roberts, 1995).

Com o passar dos dias em armazenamento, observou-se aumento nos teores de MS nos fenos ceifados em ambos os horários de corte. Considerando esta alteração no feno durante o período de armazenamento, constatou-se que o material tende a perder água atingindo um ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ar (Figura 1).

Outro fator observado durante o período pesquisado, é que mesmo com umidade estável da forragem em fardos, os CNF e CSE (ambos componentes inclusos nos valores de SDN) apresentaram depleção ao longo do armazenamento. E, pode justificar essa redução, o possível desenvolvimento microbiológico e a provável oxidação desses componentes. Rotz & Shinnars (2007) destacam que em fenos armazenados em galpões, estas perdas variam entre 4% a 5%.

No presente estudo as perdas de CNF e CSE foram respectivamente 37,22% e 37,60% em relação aos valores iniciais. Considerando que os SDN constituem o material totalmente digestível, essas perdas representaram 3,97% de MS digestível.

Uma vez que os componentes solúveis (tais como SDN, CNF e CSE) são consumidos, observou-se a concentração dos componentes fibrosos (FDN e FDA). Para fenos armazenados com adequada umidade, as principais perdas acontecem no primeiro mês, posteriormente giram em torno de 0,5% de MS (Rotz, 2005).

Apesar de não apresentar diferença ( $P > 0,10$ ), os valores de DIVMS reduziram numericamente ao final do período de avaliação 4,52% de MS digestível, impacto da degradação dos SDN ao longo do período de armazenamento.

Em ensaio avaliando o efeito da altura de corte e do armazenamento sobre a qualidade de fenos de *Cynodon* spp., Sunahara *et al.* (2017) observaram comportamento semelhante ao observado neste trabalho, em que os autores justificaram a concentração dos compostos fibrosos ao longo do armazenamento pelo consumo dos carboidratos solúveis, resultando na redução da digestibilidade *in vitro* da MS.

Apesar dos resultados obtidos no presente trabalho, existe demanda de estudos avaliando respostas fisiológicas de forrageiras tropicais submetidas ao estresse de corte para fenação. Conhecer as respostas inerentes a planta, bem como o possível comportamento da microflora epifítica, auxiliará no entendimento e quantificação das perdas no processo de conservação em ambiente tropical.

Outro enfoque para o estudo em ambientes tropicais são os agentes (físicos e microbiológicos) que atuam diretamente sobre a qualidade de fenos considerados estáveis, armazenados em diferentes formas.

Considerando os resultados do presente trabalho, avanço no horário de corte resultou em maiores concentrações de carboidratos solúveis em etanol no momento do corte, entretanto no enfardamento essa diferença deixou ser significativa. A depleção dos compostos prontamente digestíveis durante o armazenamento causou concentrações dos componentes fibrosos ao final do período experimental, reduzindo a digestibilidade *in vitro* da MS em 7,43%.

## **Conclusões**

- 1- Apesar de apresentar maiores concentrações de carboidratos solúveis, prolongar o horário de corte não apresentou grande influência sobre a composição nutricional dos fenos.
- 2- O tempo de armazenamento impôs maiores impactos sobre o valor nutricional do feno de grama-estrela africana.

## Referências Bibliográficas

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1990) *Official methods of analysis*. Arlington, VI, USA: AOAC.
- Brito, A. F., Tremblay, G. F., Bertrand, A., Castonguay, Y., Bélanger, G., Michaud, R., Lafrenière, C., Martineau, R. & Berthiaume, R. (2016) Performance and nitrogen use efficiency in mid-lactation dairy cows fed timothy cut in the afternoon or morning. *Journal of dairy science*, **99**, 5445-5460. DOI: 10.3168/jds.2015-10597
- Brown, R. H. & Morgan, J. A. (1980) Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. Vi. Differential effects of temperature and light intensity on photorespiration in  $c_3$ ,  $c_4$ , and intermediate species. *Plant Physiology*, **66**, 541-544. DOI: 10.1104/pp.66.4.541
- Burner, D. M. & Belesky, D. P. (2004) Diurnal effects on nutritive value of alley-cropped orchardgrass herbage. *Crop Science*, **44**, 1776-1780. DOI: 10.2135/cropsci2004.1776
- Burns, J. C., Fisher, D. S. & Mayland, H. F. (2007) Diurnal shifts in nutritive value of alfalfa harvested as hay and evaluated by animal intake and digestion. *Crop Science*, **47**, 2190-2197. DOI: 10.2135/cropsci2007.02.0072
- Burns, J. C., Mayland, H. F. & Fisher, D. S. (2005) Dry matter intake and digestion of alfalfa harvested at sunset and sunrise *Journal of animal science*, **83**, 262-270. DOI: 10.2527/2005.831262x
- Burritt, E. A., Mayland, H. F., Provenza, F. D., Miller, R. L. & Burns, J. C. (2005) Effect of added sugar on preference and intake by sheep of hay cut in the morning versus the afternoon. *Applied Animal Behaviour Science*, **94**, 245-254. DOI: 10.1016/j.applanim.2005.03.001
- Castagnara, D. D., Ames, J. P., Neres, M. A., Oliveira, P. S. R. d., Silva, F. B., Mesquita, E. E., Stangarlin, J. R. & Franzener, G. (2011) Use of conditioners in the production of tifton 85 grass hay. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **40**, 2083-2090
- Clark, B. J., Prioul, J. & Couderc, H. (1977) The physiological response to cutting in italian ryegrass. *Grass and Forage Science*, **32**, 1-5. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1977.tb01405.x
- Coblentz, W. K., Coffey, K. P., Young, A. N. & Bertram, M. G. (2013) Storage characteristics, nutritive value, energy content, and in vivo digestibility of moist, large rectangular bales of alfalfa-orchardgrass hay treated with a propionic acid-based preservative1. *Journal of dairy science*, **96**, 2521-2535. DOI: 10.3168/jds.2012-6145
- De Oliveira, F. C. L., Sanchez, J. M. D., Vendramini, J. M. B., Lima, C. G., Luz, P. H. C., Rocha, C. O., Pereira, L. E. T. & Herling, V. R. (2018) Diurnal vertical and seasonal changes in non-structural carbohydrates in marandu palisade grass. *The Journal of Agricultural Science*, 1-8. DOI: 10.1017/s0021859618000394

- Fisher, D. S., Mayland, H. F. & Burns, J. C. (1999) Variation in ruminants' preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. *Journal of animal science*, **77**, 762-768.
- Fisher, D. S., Mayland, H. F. & Burns, J. C. (2002) Variation in ruminant preference for alfalfa hays cut at sunup and sundown *Crop Science*, **42**, 231-237.
- Goering, H. K. & van Soest, P. J. (1979) *Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)*: Agricultural Research Service, USDA.
- Guo, G., Yuan, X., Wen, A., Liu, Q., Zhang, S. & Shao, T. (2015) Silage fermentation characteristics of napiergrass harvested at various times on a sunny day. *Crop Science*, **55**, 458. DOI: 10.2135/cropsci2014.03.0172
- Hall, M. B., Hoover, W. H., Jennings, J. P. & Webster, T. K. M. (1999) A method for partitioning neutral detergent-soluble carbohydrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **79**, 2079-2086. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199912)79:15<2079::AID-JSFA502>3.0.CO;2-Z
- Hofstra, G. & Hesketh, J. D. (1969) Effects of temperature on the gas exchange of leaves in light and dark. *Planta*, **85**, 228-237. DOI: 10.007/BF00389400
- Holden, L. A. (1999) Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of dairy science*, **82**, 1791-1794. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3
- Holt, D. A. & Hilst, A. R. (1969) Daily variation in carbohydrate content of selected forage crops. *Agronomy Journal*, **61**, 239-242. DOI: 10.2134/agronj1969.00021962006100020020x
- Jones, L. & Prickett, J. (1981) The rate of water loss from cut grass of different species dried as 20 °c. *Grass and Forage Science*, **36**, 17-23. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1981.tb01534.x
- Knapp, W. R., Holt, D. A., Lechtenberg, V. L. & Vough, L. R. (1973) Diurnal variation in alfalfa (*medicago sativa* l.) dry matter yield and overnight losses in harvested alfalfa forage. *Agronomy Journal*, **65**, 413-417. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500030018x
- Lechtenberg, V. L., Holt, D. A. & Youngberg, H. W. (1973) Diurnal variation in nonstructural carbohydrates of sorghum *sudanense* (stapf) as influenced by environment. *Agronomy Journal*, **65**, 579-583. DOI: 10.2134/agronj1973.00021962006500040016x
- Moser, L. E. (1995) Post-harvest physiological changes in forage plants. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 1-19. Madison, WI, USA: CSSA & ASA, Inc.
- National Research Council (NRC) (2001) *Nutrient requirements of dairy cattle: 2001*: National Academies Press.

- Orr, R., Penning, P., Harvey, A. & Champion, R. (1997) Diurnal patterns of intake rate by sheep grazing monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*, **52**, 65-77. DOI: 10.1016/S0168-1591(96)01120-3
- Owens, V. N., Albrecht, K. A., Muck, R. E. & Duke, S. H. (1999) Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates. *Crop Science*, **39**, 1873-1880. DOI: 10.2135/cropsci1999.3961873x
- Pelletier, S., Tremblay, G. F., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Pageau, D. & Drapeau, R. (2010) Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species. *Agronomy Journal*, **102**, 1388-1398. DOI:10.2134/agronj2010.0158
- Rees, D. V. H. (1982) A discussion of source of dry matter loss during the process of haymaking. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **27**, 469-479. DOI: 10.1016/0021-8634(82)90085-3
- Roberts, C. A. (1995) Microbiology of stored forages. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 21-38. Madison, WI: CSSA & ASA, Inc.
- Rotz, C. A. (1995) Field curing of forage. In: Moore K. J. and Peterson M. A. (eds.) *Post-harvest physiology and preservation of forages*, pp. 39-66. Madison, WI: CSSA & ASA, Inc.
- Rotz, C. A. (2005) Postharvest changes in alfalfa quality. Proceedings of the 35th California Alfalfa and Forage Symposium, Visalia, CA, 12-14 December.
- Rotz, C. A. & Muck, R. E. (1994) Changes in forage quality during harvest and storage. In: Fahey Jr G. C. (ed.) *Forage quality, evaluation, and utilization*, pp. 828-868. Madison: University of Nebraska.
- Rotz, C. A. & Shinnars, K. J. (2007) Hay harvest and storage. In: Barnes R. F., Nelson C. J., Moore K. J. and Collins M. (eds.) *Forages: The science of grassland agriculture*, 6th ed. edn, pp. 601-616: John Wiley & Sons, Inc.
- Sunahara, S. M. M., Neres, M. A., Sarto, J. R. W., Nath, C. D., Scheidt, K. C. & Kuhn, O. J. (2017) Nutritional value of tifton 85 bermudagrass at two cutting heights and different times of storage. *Semina: Ciências Agrárias*, **38**, 2129. DOI: 10.5433/1679-0359.2017v38n4p2129
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. & Murphy, A. (2015) *Plant physiology and development*. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates, Inc.
- Tilley, J. M. A. & Terry, R. A. (1963) A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, **18**, 104-111. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x
- Turner, J. E., Coblenz, W. K., Scarbrough, D. A., Coffey, K. P., Kellogg, D. W., McBeth, L. J. & Rhein, R. T. (2002) Changes in nutritive value of bermudagrass hay during storage. *Agronomy Journal*, **94**, 109-117. DOI: 10.2134/agronj2002.1090

- van Soest, P. J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*: Cornell University Press.
- Vasta, V., Pagano, R. I., Luciano, G., Scerra, M., Caparra, P., Foti, F., Cilione, C., Biondi, L., Priolo, A. & Avondo, M. (2012) Effect of morning vs. Afternoon grazing on intramuscular fatty acid composition in lamb. *Meat Science*, **90**, 93-98. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.06.009
- Vibart, R. E., Tavendale, M., Otter, D., Schwendel, B. H., Lowe, K., Gregorini, P. & Pacheco, D. (2017) Milk production and composition, nitrogen utilization, and grazing behavior of late-lactation dairy cows as affected by time of allocation of a fresh strip of pasture. *Journal of dairy science*, **100**, 5305-5318. DOI: 10.3168/jds.2016-12413

## Tabelas e Figuras

Tabela 1. Valor nutricional da forragem no momento dos cortes (n,10)

Itens <sup>‡</sup>	H13 <sup>†</sup> Média	H17 <sup>†</sup> Média	EP	<i>P</i> valor
MS	310,2	306,3	8,0	0,825
MO	935,2	929,5	2,0	0,111
PB	94,2	95,8	4,3	0,838
EE	17,5	17,6	0,6	0,937
FDN	722,1	705,4	5,7	0,190
FDA	340,5	333,6	3,7	0,173
Hem	381,5	371,8	3,3	0,274
SDN	213,1	224,1	4,7	0,385
CNF	98,5	112,0	5,8	0,414
CSE	52,9	90,3	8,9	0,039

<sup>†</sup> Cortes realizados às 13h (H13) e às 17h (H17); <sup>‡</sup> dados apresentados em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MS). MO: matéria orgânica. PB: proteína bruta. EE: extrato etéreo. FDN: fibra em detergente neutro. FDA: fibra em detergente ácido. Hem: Hemicelulose. SDN: componentes solúveis em detergente neutro; CNF: carboidratos não fibrosos; CSE: carboidratos solúveis em etanol; EP: erro padrão;

Tabela 2. Composição nutricional ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) dos fenos de grama-estrela africana ceifados às 13h e 17h horas ao longo do período de armazenamento (n, 30)

Itens <sup>†</sup>	Horário de Corte										EP	<i>P</i> valor <sup>‡</sup>		
	13:00 (H13)					17:00 (H17)						C	A <sup>§</sup>	C*A
	Armazenamento (Dias)													
0	30	60	90	120	0	30	60	90	120					
MS	807	881	907	902	912	801	880	904	905	916	5,6	0,96	<0,01 <sup>L,Q</sup>	0,89
MO	935	934	939	932	931	937	929	924	925	928	4,0	0,09	0,46	0,33
PB	87,1	92,6	80,5	88,3	94,3	84,3	103	115	114	80,8	9,8	0,15	0,43	0,13
EE	14,0	14,8	13,7	12,7	15,1	14,3	12,1	13,2	13,5	15,5	1,0	0,61	0,26	0,48
FDN	727	737	767	754	755	716	749	751	755	754	10,3	0,65	0,01 <sup>L,Q</sup>	0,70
FDA	339	354	380	373	376	337	367	364	372	370	9,2	0,69	<0,01 <sup>L,Q</sup>	0,63
Hem	387	382	387	381	379	378	382	387	383	383	7,7	0,89	0,95	0,93
SDN	208	197	172	178	176	221	180	173	170	174	11,1	0,73	<0,01 <sup>L,Q</sup>	0,73
CNF	107	89,5	78,0	77,0	66,5	123	64,9	44,7	42,5	77,7	15,2	0,25	0,01 <sup>L,Q</sup>	0,31
CSE	46,1	47,8	42,4	37,6	33,6	53,2	34,7	18,7	18,5	28,4	6,6	0,06	0,02 <sup>L</sup>	0,20
DIVMS	600	582	550	566	549	617	599	597	577	577	23,4	0,18	0,35	0,94

<sup>†</sup>Dados apresentados em  $\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca (MS). MO: matéria orgânica. PB: proteína bruta. EE: extrato etéreo. FDN: fibra em detergente neutro. FDA: fibra em detergente ácido. Hem: Hemicelulose. SDN: componentes solúveis em detergente neutro; CNF: carboidratos não fibrosos; CSE: carboidratos solúveis em etanol; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da MS; EP: erro padrão da interação; <sup>‡</sup>Efeito do horário de corte (C), tempo de armazenamento (A) e, interação entre os fatores (C\*A); <sup>§</sup> Contrastes ortogonais: Linear (L), Quadrático (Q).



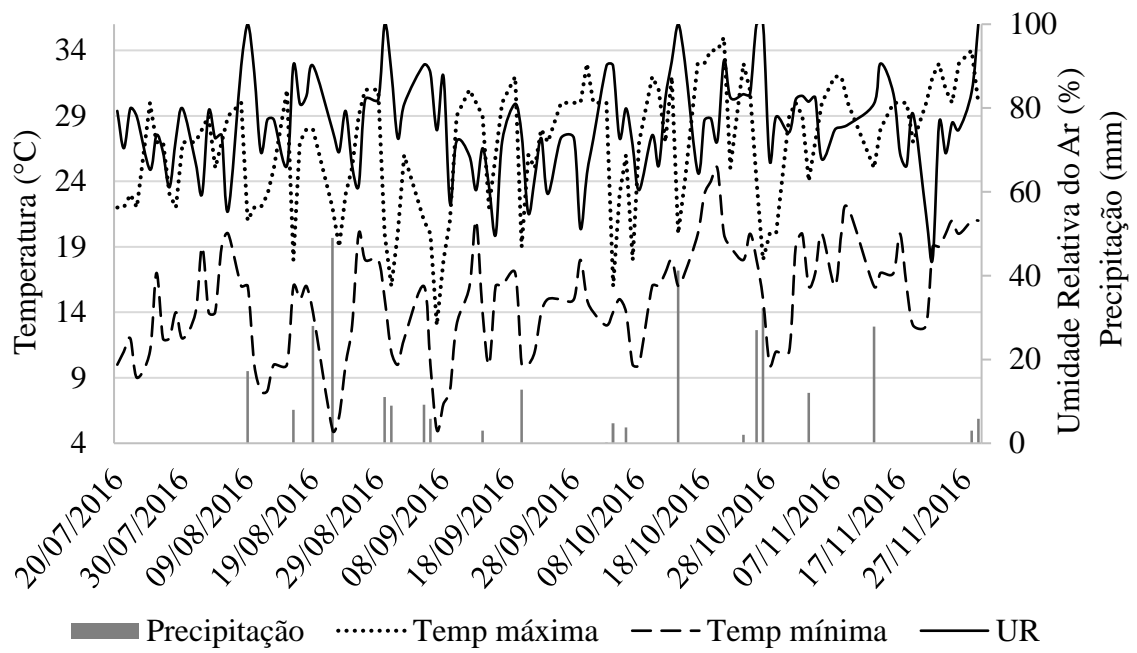


Figura 1. Dados meteorológicos do período experimental. Precipitação (mm), Temperaturas máximas e mínimas (°C) e, Umidade relativa do ar (%).  
 Fonte: Estação Meteorológica da Fazenda Experimental de Iguatemi.

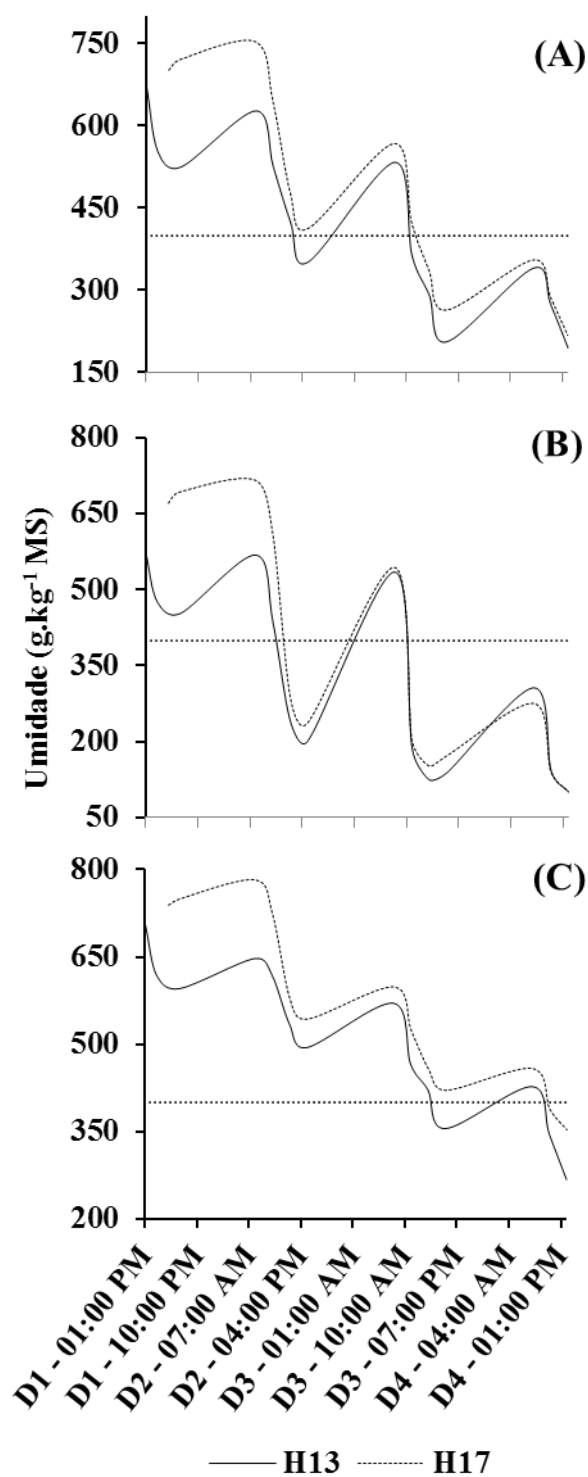


Figura 2. Curva real do comportamento de desidratação de plantas (A) de grama estrela africana e das frações folha (B) e colmo (C), ceifadas às 13h (H13) ou às 17h (H17). Linha pontilhada demarcando ponto de “morte” da planta ( $400 \text{ g kg}^{-1}$  MS)

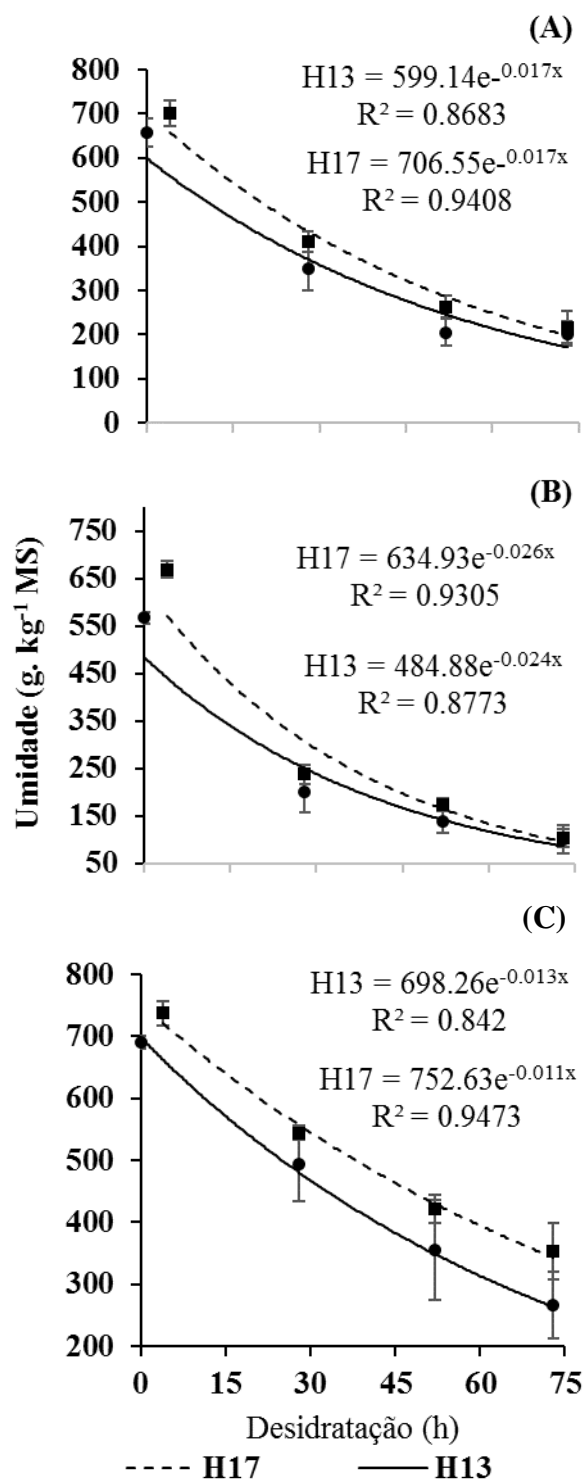


Figura 3. Taxa de desidratação utilizada para determinar os valores da taxa fracional de desidratação ( $k$ ) para: A, planta inteira (n, 40); B, folha (n, 40) e; C, colmo (n, 40).