

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO AGRONÔMICA, AMBIENTAL E
ZOOTÉCNICA DA ASSOCIAÇÃO DE SORGO-
LEGUMINOSA PARA ALIMENTAÇÃO DE VACAS
LEITEIRAS

Autor: Mábio Silvan José da Silva
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
Coorientador: Dr. Jean Claude Emile

MARINGÁ
Estado do Paraná
março - 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO AGRONÔMICA, AMBIENTAL E
ZOOTÉCNICA DA ASSOCIAÇÃO DE SORGO-
LEGUMINOSA PARA ALIMENTAÇÃO DE VACAS
LEITEIRAS

Autor: Mábio Silvan José da Silva
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
Coorientador: Dr. Jean Claude Emile

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 Pastagens e Forragicultura.

MARINGÁ
Estado do Paraná
março - 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Silva, Mábio Silvan José da
S586a Avaliação agrônômica, ambiental e zootécnica da
associação de sorgo-leguminosa para alimentação de
vacas leiteiras/Mábio Silvan José da Silva. --
Maringá, 2015.
99f. : il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim.
Coorientador: Prof. Dr. Jean Claude Emile.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, 2015.

1. Silagem. 2. Nutrição animal. 3. Vacas leiteiras. 4.
Leguminosas. I. Jobim, Clóves Cabreira, orient. II.
Emile, Jean Claude, coorient. III. Universidade
Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias.
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 22.ed. 636.2085



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS


**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA, AMBIENTAL E
ZOOTÉCNICA DA ASSOCIAÇÃO DE SORGO-
LEGUMINOSA PARA ALIMENTAÇÃO
DE VACAS LEITEIRAS**

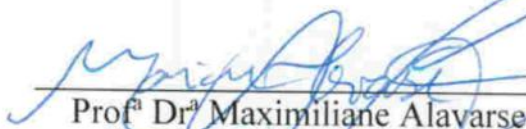
Autor: Mábio Silvan José da Silva
Orientador: Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim

TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Pastagens e
Forragicultura


APROVADA em 27 de março de 2015.


Prof. Dr. Marcos Weber do Canto


Prof. Dr. Geraldo Tadeu
dos Santos


Prof. Dr. Maximiliane Alavarse
Zambom


Prof. Dr. Marcela Abbado Neres


Prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim
(Orientador)

“A leitura após certa idade distrai excessivamente o espírito humano das suas reflexões criadoras. Todo o homem que lê de mais e usa o cérebro de menos adquire a preguiça de pensar.”

Albert Einstein

A
Deus,
pela dádiva da vida.

Aos
meus pais,
José Francisco da Silva e Marta Manoela da Silva,
principais responsáveis pelos ensinamentos básicos da vida na formação da minha
personalidade, por toda dedicação e amor.

Aos
meus irmãos,
Marcilvan e Mabiavan, pelo apoio nos momentos difíceis.

E especialmente à
minha esposa, Cleide Francisco de Barros, e a
minha filha, Sophia Barros da Silva,
pelo amor, amizade, cuidado, apoio, compreensão e dedicação
em todos os momentos e decisões, desde suas presenças em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado em cada momento da minha vida rumo as minhas conquistas.

A Universidade Estadual de Maringá, pela possibilidade de realizar este curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal do Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos durante o período de doutorado no país e no exterior.

Ao Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) e todos os seus funcionários, pelo acolhimento durante o período de doutorado sanduíche.

Ao prof. Dr. Clóves Cabreira Jobim, pela orientação, ensinamentos, dedicação, incentivo, amizade, confiança e principalmente pelas críticas construtivas para o meu aperfeiçoamento profissional.

Ao Dr. Jean Claude Emile, pela orientação, auxílio, ensinamentos, amizade e confiança durante o período de estágio no exterior (INRA – França).

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da UEM, pelos valiosos ensinamentos.

Aos membros do Grupo de Estudos em Silagens e Feno (GESF), pelo companheirismo, aprendizagem e disponibilidade para ajudar, quando necessário.

Aos meus colegas e amigos, brasileiros e franceses, que me auxiliaram nas horas difíceis, estando por perto para me confortar e exaltar o ânimo.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

REMERCIEMENTS

Merci à l'Institut National de la Recherche Agronomique – INRA Lusignan, pour avoir permis la réalisation de ce travail.

Je remercie Monsieur Jean-Claude Emile, à l'époque Directeur de l'Unité Expérimentale Fourrages Environnement Ruminants Lusignan (UEFERLUS) Les Verrines, responsable pour mon stage et accueil pour une période de 11 mois, mais surtout, pour leur soutien, disponibilité, aide, inventivité, gentillesse, sens de la pédagogie, professionnalisme, amitié et sa bonne humeur quotidienne.

Merci à Jean Marc Chambosseau, Président du centre Poitou-Charentes, pour son accueil et pour avoir mis à la disposition toute la structure dans le centre de recherche.

Un grand merci à secrétaire Françoise Menneteau pour toute l'aide qui m'a permis de simplifier de nombreuses tâches administratives, mais surtout, pour sa gentillesse, patience et amitié.

Merci aux chercheurs Guillaume Audebert, Patrice Walczak et Sandra Novak, pour leur enseignements et leur implication dans ce projet.

Je remercie également les amis de travail Franck Chargelegue, Fabien Bourgoïn, Roman Perceau, Anthony Martineau et Dimitri Boutant, pour leur très précieuse aide avec des ensilages et les vaches, toujours avec bonne humeur, et aussi pour la dessertine - rires.

Aux amis du Verrines: Daniel Gazeau, Fabien Ecalte, Xavier Charrier, Sebastien Minette, Denis Leclercq, Hugues Caillat, Isabelle Gay, Aurélie Dimouro, Fabrice Dinet, Marion Vigot, Melanie Despeignes et tous les autres, pour tout aide et aussi amitié.

L'équipe du laboratoire de chimie Philippe, Véronique, Nathalie et Catherine, pour leur aide dans les manip faites dans leur laboratoire et pour leur gentillesse.

... Ce fut vraiment un plaisir de travailler au jour le jour avec chacun de vous.

BIOGRAFIA

Mábio Silvan José da Silva, filho de José Francisco da Silva e Marta Manoela da Silva, nasceu no distrito de Negras, pertencente ao município de Itaíba, Pernambuco, no dia 10 de agosto de 1987.

Em junho de 2005, ingressou na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE/UAG), onde em agosto de 2010, obteve o título de bacharel em zootecnia, sendo o aluno laureado da turma.

Em agosto de 2010, ingressou no mestrado em ciência animal e pastagens, na UFRPE/UAG, concentrando seus estudos na área de pastagens e forragicultura.

De março a dezembro de 2011, iniciou atividades de estágio sanduíche na Universidade Estadual de Maringá (UEM), onde cursou algumas disciplinas de mestrado como aluno não regular.

Em fevereiro de 2012, obteve o título de mestre em ciência animal e pastagens, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns.

Em março de 2012, ingressou no doutorado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá, concentrando os estudos na área de pastagens e forragicultura.

Durante o período de julho de 2013 a maio de 2014, desenvolveu atividades de doutorado sanduíche junto ao Institut National de la Recherche Agronomique (INRA-França), tendo sido contemplado com bolsa de doutorado sanduíche pelo Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE/Capes.

Em março de 2015, submeteu-se a avaliação de defesa de tese no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de doutorado, área de pastagens e forragicultura, na Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	15
ABSTRACT	17
I - INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1 Mudanças climáticas e produção agrícola	20
1.2 Estratégias à produção de forragens	22
1.2.1 Sorgo VS milho	23
1.2.2 Silagem de sorgo	24
1.2.3 Associações gramíneas – leguminosas	27
1.3 Leguminosas	29
1.3.1 Feijão (<i>Phaseolus spp.</i>)	30
1.3.2 Soja (<i>Glycine max</i>)	31
1.3.3 Ervilha (<i>Pisum sativum L.</i>)	34
1.3.4 Ervilhaca (<i>Vicia spp.</i>)	37
1.3.5 Trevo (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	39
1.4 Considerações finais	40
Referências	41
II - OBJETIVOS GERAIS	50

III -	IMPACTO AGRONÔMICO E AMBIENTAL DA ASSOCIAÇÃO ENTRE SORGO E LEGUMINOSAS PARA PRODUÇÃO DE FORRAGEM	51
	Resumo	51
	Abstract	51
	Introdução	52
	Material e Métodos	53
	Resultados e Discussão	56
	Conclusões	70
	Referências	71
IV -	VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS MISTAS DE SORGO COM LEGUMINOSAS E DESEMPENHO PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS	74
	Resumo	74
	Abstract	74
	Introdução	75
	Material e Métodos	76
	Resultados e Discussão	81
	Conclusões	93
	Referências	93
V -	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98

LISTA DE TABELAS

		Página
I- INTRODUÇÃO GERAL		
Tabela 1	Critérios de classificação das silagens de sorgo, de acordo com os parâmetros bromatológicos	26
III - IMPACTO AGRONÔMICO E AMBIENTAL DA ASSOCIAÇÃO ENTRE SORGO E LEGUMINOSAS PARA PRODUÇÃO DE FORRAGEM		
Tabela 1	Análise do solo da área experimental	54
Tabela 2	Características morfológicas e produtivas de duas cultivares de sorgo em diferentes associações com leguminosas e formas de estabelecimento	58
Tabela 3	Características morfológicas e produtivas de leguminosas submetidas a diferentes formas de estabelecimento e associações com sorgo	62
Tabela 4	Valores de matéria seca em g kg ⁻¹ MN (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), carboidratos solúveis (CHOs), amido, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico insolúvel em detergente neutro (COIDN) e carbono orgânico insolúvel em detergente ácido (COIDA), expressos em g kg ⁻¹ MS, de culturas mistas de sorgo-leguminosa ..	67

IV - VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS MISTAS DE SORGO COM LEGUMINOSAS E DESEMPENHO PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS

Tabela 1	Composição das dietas utilizadas para a alimentação das vacas em lactação	79
Tabela 2	População, cobertura do solo e produção de matéria seca das plantas invasoras nas diferentes associações sorgo-leguminosa	81
Tabela 3	Valores de pH e composição química da forragem verde e das silagens de sorgo anão-soja (SAS) e sorgo gigante-feijão (SGF), expressos em g kg ⁻¹ MS	82
Tabela 4	Densidade (DE) da massa de forragem das silagens nos diferentes estratos do silo	86
Tabela 5	Temperatura ambiente, valores médios e máximos de temperatura e pH das silagens e perdas de matéria orgânica (MOp) durante o período de exposição ao ar	89
Tabela 6	Parâmetros comportamentais e valores de ingestão para vacas alimentadas com dieta a base de silagens mista sorgo-leguminosa .	90
Tabela 7	Produção e qualidade do leite de vacas alimentadas com dieta à base de silagens mista sorgo-leguminosa	91

LISTA DE FIGURAS

		Página
III - IMPACTO AGRONÔMICO E AMBIENTAL DA ASSOCIAÇÃO ENTRE SORGO E LEGUMINOSAS PARA PRODUÇÃO DE FORRAGEM		
Figura 1	Precipitação pluviométrica e temperaturas médias, máximas e mínimas durante o período experimental - dados obtidos da plataforma INRA Climatik	55
Figura 2	Equações de regressão para sequestro de carbono, em função da produção de matéria seca total (A) e razão C/N em função dos níveis de leguminosas na forragem (B)	64
Figura 3	Aumento nas concentrações de proteína bruta (PB) e equações de regressão, (PB1 - todos os tratamentos) e (PB2 - supressão da associação sorgo-feijão espanhol), em função dos níveis de leguminosas na forragem	66
Figura 4	Razão NIDA/N-total para as diferentes associações e métodos de estabelecimento de sorgo com leguminosas	68
IV - VALOR NUTRICIONAL DE SILAGENS MISTAS DE SORGO COM LEGUMINOSAS E DESEMPENHO PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS		
Figura 1	Tamanho médio de partículas (TMP) e estratificação percentual das partículas das silagens em função do diâmetro médio da peneira	86
Figura 2	Equações de regressão para pH das silagens em função do tempo de exposição ao ar. Pontos com letras desiguais diferem entre si pelo teste F (P<0,05)	87

Figura 3	Temperatura ambiente e das silagens e respectivas equações de regressão em função do tempo de exposição ao ar	88
----------	---	----

RESUMO

Objetivou-se avaliar o impacto da produção de culturas consorciadas, sorgo com leguminosas, sobre o potencial de mitigação do efeito estufa, produtividade e qualidade de forragem, bem como verificar as perdas de matéria orgânica, estabilidade aeróbia, composição e o valor nutricional de silagens mistas, além do comportamento, produção e composição do leite de vacas em lactação alimentadas com estas silagens. Foram conduzidos dois experimentos. Experimento I - Consistiu na avaliação de dois sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* L. Moench), sendo o sorgo anão (cv. Surgo) e o sorgo gigante (cv. Sweet Virginia BMR), em monocultivo ou consorciados com leguminosas. O sorgo anão foi consorciado com as seguintes leguminosas: soja (*Glycine max* L. var. Mitzuko NT); ervilha (*Pisum sativum* L. var. Astronauta); ervilhaca (*Vicia villosa* L. var. Savane); trevo de alexandria (*Trifolium alexandrinum* L. var. Tabor) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* var. Merveille de Venise), enquanto o sorgo gigante foi produzido associado a duas variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* var. Neckargold e Alaric) e ao feijão espanhol (*Phaseolus coccineus* L. var. Painted Lady). Os consórcios sorgo anão+soja e sorgo gigante+feijão Neckargold foram submetidos a diferentes formas de estabelecimento, com quatro repetições cada. Os dados foram analisados por meio de delineamento inteiramente casualizado. Observou-se que o cultivo consorciado não ocasionou diferença na produtividade da forragem, exceto entre as associações do sorgo anão com soja, em densidade padrão (16,65 t MS/ha) e baixa densidade de cultivo (15,98 t MS/ha), em relação ao sorgo gigante em consórcio com o feijão Neckargold, em alta densidade de plantio (7,31 t MS/ha). A associação entre sorgo anão-soja, em densidade padrão, proporcionou maior potencial de sequestro de carbono (C), com valor médio de 7,35 t C/ha. O sequestro de carbono respondeu

quadraticamente à inclusão de leguminosas, com acréscimo de 1,56 t C/ha quando na concentração de 13% na forragem. Verificou-se aumento nos teores de proteína (PB) e redução da razão C/N nas forragens consorciadas. Houve aumento nos teores de lignina com a associação entre sorgo-leguminosas. A inclusão das leguminosas e/ou a forma de estabelecimento da cultura não proporcionaram melhora na digestibilidade da matéria seca (DIVMS) dentro do mesmo tipo de sorgo, porém, as maiores digestibilidades foram observadas nas associações com o sorgo gigante. O cultivo consorciado de sorgo com leguminosas melhora a qualidade da forragem, principalmente os níveis de proteína, e contribui para o aumento no sequestro de carbono. Experimento II – Para a avaliação do valor nutricional de silagens de sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão Neckargold, foram utilizadas 12 vacas multíparas da raça Prim'Holstein (PO), agrupadas em dois lotes de seis animais, baseando-se no número de dias em lactação, número de lactação e produção de leite. O período experimental consistiu de 21 dias de adaptação e dois períodos experimentais de 21 dias cada. Os períodos experimentais foram intercalados por um período *wash-out* de sete dias. Os dados obtidos foram avaliados por meio do delineamento *cross-over*. Nas silagens, observaram-se maiores perdas de matéria orgânica, decorrentes do processo fermentativo, no consórcio sorgo anão-soja (12,41%), porém, as perdas nesta silagem foram reduzidas quando do período de exposição ao ar, pela sua maior estabilidade aeróbia. A silagem de sorgo anão-soja se destacou pelas maiores concentrações de MS, PB e NIDN associado à baixa razão NIDA/N-total e menores valores de FDN e FDA, proporcionando maior DIVMS. As vacas alimentadas com a silagem de sorgo anão-soja urinaram mais vezes. A ingestão de matéria seca, tanto da silagem como da ração total, foi maior quando das vacas alimentadas com silagem de sorgo anão-soja. Estas vacas produziram maiores quantidades diárias de leite (28,28 kg/vaca/dia) que as vacas alimentadas com a silagem de sorgo gigante-feijão (24,38 kg/vaca/dia), sem alterações nas concentrações de gordura, proteína e N-ureico. A silagem de sorgo anão-soja proporcionou melhor eficiência alimentar, para produção de leite, e manteve o ganho de peso diário positivo. As silagens produzidas com sorgo anão-soja apresentaram melhor valor nutricional e aceitabilidade pelos animais, e permite melhor desempenho produtivo e qualidade do leite, que a silagem de sorgo gigante-feijão.

Palavras-chave: forragem, leite, produção, sequestro de carbono, silagem mista, valor nutricional

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the impact of intercropped production, sorghum with legumes, on the potential for greenhouse effect mitigation, productivity and forage quality, as well, to verify the organic matter losses, aerobic stability, composition and nutritional value of mixed silage, beyond the behavior, production and milk composition of lactating cows fed with these silages. Two experiments were carried out. Experiment I - It consisted of two grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) evaluation, being the dwarf sorghum (cv. Surgo) and the giant sorghum (cv. Sweet Virginia BMR), in monoculture or intercropped with legumes. The dwarf sorghum was intercropped with legumes as follows: soybean (*Glycine max* L. var Mitzuko NT); pea (*Pisum sativum* L. var astronaute.); vetch (*Vicia villosa* L. var Savane.); Alexandria's clover (*Trifolium alexandrinum* L. var Tabor.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var Merveille de Venise.), while the giant sorghum was produced in association with two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var Neckargold and Alaric) and a variety of Spanish bean (*Phaseolus coccineus* L. var. Painted Lady). The intercropping dwarf sorghum+soybean and giant sorghum+Neckargold bean were also evaluated considering their form of crop establishment, with four replications each. Data were analyzed using a completely randomized design. It was observed that the intercropped system did not result significant differences in the forage productivity, except among the dwarf sorghum with soybean associations, in standard plant density (16.65 t DM/ha) and low plant density (15.98 t DM/ha), compared to the giant sorghum intercropped with Neckargold beans, for high plant density (7.31 t DM/ha). The association between dwarf sorghum-soybean in pattern density, provided greater carbon sequestration potential (C), with a mean value of 7.35 t C/ha. The carbon sequestration behaved

quadratically to the inclusion of legumes, with an increase of 1.56 t C/ha with the concentration of 13% in the forage. It was observed an increase in protein concentration (CP) and reduction of the C/N ratio in the intercropped forages. There was an increase in lignin levels with the association between sorghum-legume. The inclusion of legumes and/or the form of crop establishment did not improve dry matter digestibility (IVDMD) within the same type of sorghum, however, the highest digestibility were observed in association with the giant sorghum. The sorghum intercropping with legumes improves forage quality, especially protein levels, and contributes to the increase in carbon sequestration. Experiment II - For evaluating the nutritional value of dwarf sorghum-soybean and giant sorghum-Neckargold bean silages were used 12 multiparous Prim'Holstein cows (PO), grouped into two lots of six animals, based on days in milk, lactation number and milk production. The experimental period was 21 days of adaptation and two experimental periods of 21 days each. The experimental periods were intercalated with a "wash-out" period of 7 days. The data were evaluated by a cross-over design. In the silages, there were higher organic matter losses, resulting from the fermentation process, in the dwarf sorghum-soybean consortium (12.41%), however, the losses in this silage were reduced during the air exposure period, due to its higher aerobic stability. The dwarf sorghum-soybean silage stood out by higher concentrations of DM, CP, and NDIN associated with low ratio ADIN/N-total and lower values of NDF and ADF, providing greater IVDMD. The cows fed with dwarf sorghum-soybean silage urinated more times. The dry matter intake, for silage as for total diet was higher when the cows fed dwarf sorghum-soybean silage. These cows produced higher daily amounts of milk (28.28 kg/cow/day) than cows fed giant sorghum-bean silage (24.38 kg/cow/day) without changes in fat, protein and N-urea concentration. The silage of dwarf sorghum-soybean provided better feed efficiency, for milk production, and kept the positive daily weight gain. The silages with dwarf sorghum-soybean have better nutritional value and acceptability by the animals, as well as, allows better productive performance and milk quality, that the giant sorghum-bean silage.

Key words: carbon sequestration, forage, milk, mixed silage, nutritional value, production

I – INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, com o advento das mudanças climáticas, o setor agrícola tem sido estimulado e/ou obrigado a desenvolver e adotar novas estratégias de produção, que primem pela redução de impactos sobre meio ambiente. Esta preocupação ocorre pela maior dependência e pela contribuição potencial dos setores agropecuários sobre o clima, impulsionando a geração de um novo perfil de produção.

As perdas econômicas decorrentes de eventos ambientais associados a mudanças climáticas são inúmeras e seus efeitos, até o presente momento, não foram estimados. No entanto, estudos do Grupo Intergovernamental sobre a Evolução do Clima (IPCC, 2007) apontam o agravamento de seus impactos nas próximas décadas, com maior amplitude sobre os recursos hídricos, energéticos e, em particular, na produção agrícola.

Na agricultura, os países de baixas latitudes serão os mais impactados negativamente, sendo observado que nesses países as temperaturas já se aproximam de níveis similares aos limites toleráveis de cultivo de muitos gêneros agrícolas. Para os países de elevada altitude, espera-se aumento nos níveis de precipitação, o que pode ser favorável à produção agrícola (Araújo et al., 2011). Segundo Assad & Pinto (2008), o setor agropecuário brasileiro sofrerá o maior impacto, estimando-se perdas nas safras de grão de R\$ 7,4 bilhões já em 2020 e alcançando o valor de R\$ 14 bilhões em 2070.

Face às previsões “catastróficas”, a conscientização e adoção de medidas mitigadoras constituem as melhores estratégias para o enfrentamento dos cenários climático futuros, sem maiores ônus para a população do planeta. Dentre as formas de minimizar os impactos das mudanças climáticas para a produção de alimentos, destaca-se o uso de culturas mais adaptadas ao novo padrão climático, que favoreçam a

racionalização do uso de recursos hídricos, o aumento no sequestro de carbono e a diminuição de insumos em seu ciclo de produção.

1.1 Mudanças climáticas e produção agrícola

As projeções da mudança climática global têm uma base científica sólida, e cresce cada vez mais a certeza que eventos climáticos extremos irão aumentar em frequência e intensidade. Isto torna provável que perdas patrimoniais imputáveis relacionadas a “catástrofes” com o clima irão aumentar. No entanto, estas perdas envolvem ativos produtivos, bens pessoais e até mesmo a perda da vida e o status de segurança alimentar de milhões de pessoas em áreas sujeitas a desastres (FAO, 2008). Os impactos previstos incluem ainda períodos de seca prolongada, perda da fertilidade e degradação do solo, devido ao aumento da precipitação, o que implicará negativamente na agricultura e na segurança alimentar.

Os principais vilões neste cenário climático são os gases do efeito estufa que tiveram rápido aumento nas últimas décadas, como: dióxido de carbono - CO₂, metano - CH₄ e óxido nitroso – N₂O, estando o CO₂ associado ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso das terras e o CH₄ e N₂O ligados às práticas agrícolas (IPCC, 2007). Segundo Pye-Smith (2012), as atividades agrícolas são diretamente responsáveis por 10 a 12% das emissões de gases do efeito estufa, chegando a 30% se contabilizadas todas as atividades, como o desmatamento para implantação de culturas agrícolas e de áreas de pastagem, com alta contribuição na emissão do óxido nitroso e metano. Isto representa de 80 a 86% das emissões por sistemas de produção de alimentos (Vermeulen et al., 2012).

Como reflexo, as perdas no setor agrícola são evidentes. Porém, segundo Margulis & Dubeux (2010), expressar valores para estas perdas econômicas é algo complicado, pois é difícil definir a relação entre determinada mudança climática e seu efeito sobre a produtividade agrícola, por envolver no processo uma combinação de ciência agrícola, economia e avaliação de condicionantes como mercados locais e externos, competitividade e sistemas de produção vigentes, entre outros.

Estima-se que as áreas agrícolas de baixo risco, utilizadas pelas culturas mais representativas do Brasil, em termos de área plantada (86,17% do total - algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja) serão reduzidas em 6,11; 8,37 e 8,84% nos anos de 2020, 2050 e 2070, respectivamente, em relação à área

cultivada em 2007, considerando-se um cenário otimista das mudanças climáticas e processos de mitigação. Valor superior será observado se considerado o cenário pessimista, com redução de até 9,32% para o ano de 2070, sendo as culturas de soja, milho e café as mais impactadas (Assad & Pinto, 2008). O mesmo estudo afirma que a perda de produção agrícola, no continente africano, pode chegar a 50% já em 2020.

Outro ponto crítico, face às mudanças no clima, é a disponibilidade de recursos hídricos, que tem se tornado cada vez mais escasso em todo o mundo. Segundo a WHO (2007), a escassez de água poderá atingir cerca de 1,8 bilhões de pessoas em 2025. Isto impactará diretamente na agricultura pela grande dependência de água para o cultivo irrigado, que responde por 70% do consumo mundial de água, atingindo valores de até 85% de acordo com as variáveis climáticas (Hanasaki et al., 2008). De acordo com Fischer et al. (2007), a demanda pela irrigação agrícola deve aumentar nas regiões áridas e semiáridas em média 10% para cada 1°C de aumento na temperatura. Nellemann et al. (2009) relatam que perdas de rendimento de 10 a 30% devido à menor disponibilidade de água, sem aumento da eficiência de uso, em lavouras irrigadas do mundo equivaleria a perdas na faixa de 4 a 12% da produção mundial de cereais.

No Brasil, as áreas mais vulneráveis são a Amazônia e o Nordeste, com tendência de redução pluviométrica de 1 a 1,5 mm/dia e 2 a 2,5 mm/dia, respectivamente, com aumento médio de temperatura podendo atingir 7 a 8°C em 2100. As projeções indicam, ainda, aumento na temperatura e pontos de extremo calor, bem como reduções na frequência de geadas, pelo aumento da temperatura mínima, principalmente nos Estados do centro-oeste, sudeste e sul (Margulis & Dubeux, 2010).

O uso de fertilizantes nitrogenados figura, juntamente com a irrigação, como os principais gargalos para a produção agrícola futura, por haver dependência mútua para a obtenção da melhor expressão produtiva pelas culturas, algo que foi implementado com a tecnologia da revolução verde (FAO, 2011). Os fertilizantes, por si só, respondem por cerca de 50% do aumento da produção mundial (FAO, 2003). Desta forma, os aumentos necessários, projetados para sustentar a demanda de alimentos, assumem aumento substancial no uso de fertilizantes. Principalmente na agricultura de pequena escala, por haver forte correlação entre o preço dos fertilizantes e o petróleo, poderá ocorrer diminuição da acessibilidade dos produtores aos fertilizantes comerciais, acarretando aumento nos preços dos alimentos (Nellemann et al., 2009).

Em termos econômicos, Stern (2007) relata que, se ações de mitigação não forem adotadas, os custos totais e riscos da mudança climática serão equivalentes à redução de, no mínimo, 5% do PIB global/ano até 2050.

1.2 Estratégias à produção de forragens

Em países de clima temperado, como a França, os animais de produção são confinados durante todo o inverno, recebendo uma alimentação com volumoso (à base de forragem conservada) e concentrados (em geral à base de torta de soja, colza e milho). No verão, os animais permanecem maior tempo em pastejo, mesmo assim, faz-se necessária a suplementação de volumoso durante um dado período, onde não há mais oferta de forragem suficiente a campo. Assim, a irrigação é o único meio, utilizado pela maioria dos produtores, de assegurar a continuidade da produção de forragem durante todo o verão e garantir suprimento de volumoso nos demais períodos do ano. Deste modo, a utilização de forragens mais rústicas e menos exigentes em recursos hídricos pode favorecer maior permanência dos animais em pastejo, além de permitir a produção de forragens destinadas à conservação sem uso de sistemas de irrigação.

Segundo Combres (2013), os sistemas de irrigação na França estão presentes em 1,4 milhões de hectares, os quais demandam cerca de 4,9 bilhões de m³ de água (2,8% do volume disponível/ano), sendo que mais da metade do solo irrigado se localiza na região Oeste da França (Aquitaine, Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Pays de la Loire e Centre), com destaques para a produção de milho (grão/semente) e milho forrageiro juntamente com outras culturas forrageiras anuais, que representam 41 e 7%, respectivamente, da área total irrigada da França. A soja e outras proteaginosas correspondem juntas a 4% da área total irrigada. Nota-se, assim, a forte dependência da produção de milho como fonte alimentar nos setores agropecuários, sendo recorrente o processo de irrigação. Isto impulsiona a hipótese da possível substituição da cultura do milho pelo sorgo, principalmente como alternativa forrageira a alimentação animal, sem ônus na produção ou qualidade do produto de origem animal.

Neste sentido, observa-se a necessidade de pesquisas que primem pelo cultivo de espécies forrageiras mais adaptadas às novas condições climáticas, que racionalizem a utilização dos recursos hídricos e fertilizantes nitrogenados para sua produção e contribuam para o sequestro de carbono.

1.2.1 Sorgo VS milho

Nos sistemas intensivos de produção leiteira, o milho ainda constitui a principal fonte energética da alimentação animal. Na França, o rebanho leiteiro tem como base da alimentação a silagem de milho, para o qual, frequentemente, se utiliza da irrigação como forma de assegurar a produção de leite durante todo o ano. Neste sentido, instituições de pesquisa como o INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) tem direcionado esforços para a pesquisa e disseminação da utilização do sorgo como alternativa ao milho, na produção de forragem.

O sorgo apresenta características intrínsecas de tolerância à seca, permitindo níveis de produções aceitáveis na ausência de irrigação. Assim como o milho, o sorgo é uma planta de metabolismo C4, o que permite maior eficácia no controle de abertura dos estômatos em função das condições ambientais ao qual é submetido, conferindo melhor utilização da água e capacidade de crescimento elevado. No entanto, o milho apresenta forte sensibilidade ao estresse hídrico no estágio reprodutivo, enquanto o sorgo mostra alta resistência nesta etapa do seu ciclo produtivo (Goufichon et al., 2010).

Segundo Didier (1991), o sorgo apresenta melhor eficiência de utilização de água que o milho, utilizando entre 80 e 100 mL/planta de água a menos por ciclo produtivo. Além disso, as raízes são densas e ramificadas o que, juntamente a menor taxa de crescimento foliar, favorece o melhor aproveitamento de nutrientes, tornando-se menos exigente quanto à fertilidade do solo (Legarto, 2000; Hammer, 2006). Assim, o sorgo normalmente cresce melhor que o milho em solos de baixa fertilidade, porém, responde favoravelmente às boas condições de fertilidade. No entanto, deve-se ter atenção especial em relação ao pH do solo, visto que o sorgo não se desenvolve bem em solos com pH alcalino. Nestes solos, o sorgo emergirá e ficará amarelo, pela deficiência em ferro e/ou zinco, diminuindo o seu rendimento. As necessidades de fertilizantes são semelhantes ao do milho e, de modo geral, aconselha-se em média de 3,6 a 4,1 kg de nitrogênio (N) por cada tonelada de matéria verde (MV) produzida (Bean & Marsalis, 2012).

Por ser uma espécie adaptada a regiões de baixa precipitação pluviométrica ou com períodos chuvosos curtos, geralmente regiões áridas, o sorgo, pode ser cultivado em zonas com precipitação entre 600 e 900 mm durante a estação chuvosa, sem grandes perdas na produtividade. De acordo com Goufichon et al. (2010), o sorgo é considerado como cultura alternativa ao milho quando o índice pluviométrico é muito baixo,

principalmente em regiões tropicais, notadamente na África e América Central, mas também observado nos Estados Unidos, Europa e no Brasil.

Embora ainda pouco conhecido em algumas regiões da América e na Europa, o sorgo é uma das culturas líder no mundo agrícola, sendo o quinto cereal mais produzido no mundo, com 55,5 milhões de toneladas de grãos na safra de 2012, estando abaixo do trigo, arroz, milho e da cevada (FAO, 2012). No Brasil, o sorgo tem despontado como excelente alternativa para as diversas regiões brasileiras, tendo alcançado na safra de 2012/13 produção de 2,16 milhões de toneladas de grãos, cultivados em 797 mil hectares (CONAB, 2014).

O sorgo é uma cultura que apresenta alta produtividade, entre 14,1 e 20,9 toneladas de MS/ha (t/MS/ha), e valor nutricional satisfatório para alimentação animal (Emile et al., 2009; Zopollatto et al., 2009), características que estão diretamente associadas aos fatores de produção, principalmente a disponibilidade de água e a adubação nitrogenada. E, por ser uma planta mais rústica do que o milho, o sorgo muitas vezes não recebe a atenção necessária em termos de época de plantio, adubação e manejo, resultando em baixo rendimento e perda na qualidade nutricional (Paziani, 2011).

Dentro dos sistemas de produção animal, o sorgo pode ser utilizado tanto para alimentação de não ruminantes (grãos) como para ruminantes (forragem/silagem). Na produção de ruminantes, onde a principal forma de utilização é como silagem, o sorgo figura como segunda opção ao milho, no entanto, segundo Rodrigues et al. (2004) e Von Pinho et al. (2007), o sorgo se destaca em relação ao milho por apresentar: fácil cultivo; menor gasto com sementes; menor custo de produção; sistema radicular abundante e profundo; elevada produtividade; aproveitamento da rebrota, com produção de até 60% do primeiro corte; valor nutritivo da forragem produzida equivalente em 85 a 90% da silagem de milho, sem necessidade de aditivo para obtenção da fermentação adequada a conservação.

1.2.2 Silagem de sorgo

Atualmente, pelas diversas pesquisas que focam a seleção e o melhoramento genético do sorgo, tem-se no mercado a disponibilidade de vários híbridos de sorgo, com diferentes aptidões (granífero, silageiro, duplo propósito e sacarino), todos pertencentes a espécie (*Sorghum bicolor* L. Moench). Agronomicamente, a

classificação ocorre em quatro grupos, sendo: o granífero, que apresenta baixo porte e boa adaptabilidade à colheita mecânica; o forrageiro para produção de silagem ou etanol, pelo porte alto e maior produção de matéria seca; o forrageiro para pastejo, capineira/corte verde, fenação e cobertura morta; e o vassoura utilizado para confecção de vassouras a partir das panículas.

Quando da escolha do híbrido para ensilagem, deve-se considerar a produtividade e o valor nutritivo do híbrido, visto que existe uma grande variabilidade entre as cultivares de sorgo (Bean & Marsalis, 2012). Segundo Neumann et al. (2014), devido a maior concentração de constituintes energético nos grãos, têm havido grandes esforços em pesquisas que buscam melhorias na produção e, conseqüente participação de grãos na silagem, porém, a fração vegetativa vem ganhando importância, por ser responsável pelo maior provimento de fibra, e a qualidade desta estar relacionado a fatores de ingestão e eficiência alimentar.

Em função da parte vegetativa, dois principais tipos de sorgo são frequentemente utilizados para a produção de silagens, os que apresentam a nervura marrom (BMR - *brown midrib*) e os não BMR. Os BMR são caracterizados pela expressão do gene da nervura marrom e apresentam menores concentrações de lignina, aumentando a digestibilidade dos componentes fibrosos da forragem e melhorando o valor nutritivo (Oliver et al., 2005; Audebert et al., 2011). Porém, em função da menor concentração de lignina e maior fragilidade do colmo, a quebra e o acamamento pode ser um problema, principalmente se houver condições adversas de vento e/ou retardo em relação ao estágio ideal da colheita.

Deve-se ter consciência que todo material vegetal é passível de ser armazenado na forma de silagem, e a escolha depende apenas da finalidade de uso do material ensilado. Quando o objetivo é explorar ao máximo o potencial genético dos animais de produção, deve-se optar por híbrido de elevado valor nutricional e aplicar manejo de produção com foco em evitar perdas durante o processo fermentativo da massa ensilada. Nestas condições, Demarchi et al. (1995) e Pesce et al. (2000) orientam a ensilagem de híbridos que apresentem características agrônômicas relacionadas ao processo de fermentação no silo. Na ensilagem e utilização, o manejo deve primar pela redução das perdas de matéria seca e de nutrientes, e a manutenção do consumo, digestibilidade e desempenho animal, bem como, a qualidade do produto final (carne ou leite).

De acordo com Neumann et al. (2014), o ideal para classificação de um híbrido de sorgo como silageiro é que apresente alta participação de grãos na massa ensilada, boa

produtividade de massa verde (porte médio a alto), ciclo precoce, colmo suculento, curto período de floração, boa tolerância às principais doenças, excelente uniformidade de maturação dos grãos e altamente estáveis ao acamamento e/ou quebra. Associado às características agrônômicas do sorgo, devem-se ainda considerar, para obtenção de silagens com valor nutricional superior, as características inerentes ao manejo e às tecnologias empregadas no processo de ensilagem/densilagem como teor de matéria seca no momento da colheita, tamanho médio de partícula, densidade de compactação da massa ensilada, vedação do silo, tipo de lona, proteção da lona, uso de inoculantes, forma de densilagem e avanço no painel do silo, dentre outros.

Baseando-se em diversas revisões de literatura, Neumann et al. (2014) estabeleceram critérios de classificação das silagens de sorgo quanto aos valores bromatológicos, conforme tabela abaixo:

Tabela 1. Critérios de classificação das silagens de sorgo, de acordo com os parâmetros bromatológicos

Parâmetros ¹	Classificação das silagens de sorgo			
	Muito boa	Boa	Média	Ruim
pH	3,80	3,81 - 4,20	4,21 - 4,60	> 4,60
MS (g/kg MN)	300 - 370	270 - 299	250 - 269	< 250 ou >370
MM (g/kg MS)	20 - 50	-	-	< 20 ou > 50
EE (g/kg MS)	20 - 50	-	-	< 20 ou > 50
PB (g/kg MS)	60 - 80	-	-	< 60
FDN (g/kg MS)	350 - 420	421 - 530	531 - 650	> 650
FDA (g/kg MS)	220 - 300	301 - 380	381 - 430	> 430
CNF (g/kg MS)	> 400	330 - 399	250 - 329	< 250
Amido (g/kg MS)	> 300	240 - 299	170 - 239	< 170
DMS (g/kg MS)	> 650	580 - 649	530 - 579	< 530
VRA	> 150	115 - 149	90 - 115	< 90

¹ - pH: potencial hidrogeniônico; MS: matéria seca; MM: matéria mineral; EE: extrato etéreo; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; CNF: carboidratos não fibrosos; DMS: digestibilidade estimada da MS; VRA: valor relativo do alimento.

Fonte: Adaptado de Neumann et al. (2014).

Observando os valores de referência encontrados na Tabela 1, verifica-se que o principal limitante na qualidade da silagem do sorgo é o baixo nível proteico, mesmo em silagens consideradas ótimas (60 - 80 g/kg MS), neste sentido, a associação com espécies de leguminosas constituem uma alternativa para minimizar o déficit proteico nestas silagens e, conseqüentemente, reduzir a necessidade de concentrados proteicos na ração, que são os mais onerosos.

Na alimentação de vacas leiteiras, estudos realizados que comparam silagens de sorgo e milho (Legarto 2000; Nascimento et al., 2005), têm demonstrado que, se atendidos os critérios para uma boa ensilagem, a silagem de sorgo apresenta valor nutricional equiparado à de milho. Assim, é oportuna sua avaliação em sistemas de produção de leite, a fim de verificar o efeito de diferentes formas de condução agrônômica, que visem a melhoria na produtividade e valor nutricional da silagem, bem como, aumentar o desempenho produtivo do rebanho.

1.2.3 Associações gramíneas - leguminosas

As práticas de consórcios entre culturas de diferentes espécies, em especial cereais e leguminosas, têm sido desenvolvidas na agricultura tropical desde as antigas civilizações (Akhtar et al., 2013), cujo objetivo é otimizar o uso dos recursos disponíveis, como terra, luz e nutrientes (Badgley et al., 2007; Arshad et al., 2012) e favorecer o aumento da biodiversidade do ecossistema agrícola (Koochi et al., 2014). Segundo Zhang & Li (2003), a associação de espécies forrageiras constituem um dos sistemas sustentáveis que, responde proporcionalmente ao aumento da diversidade e complexidade da consorciação, gerando maior estabilidade dos sistemas de exploração. Como reflexo, tem-se o aumento da produtividade, a manutenção da fertilidade do solo, o melhor controle da erosão e a utilização ótima dos recursos totais disponíveis (Mazaheri, 1993).

O desenvolvimento de pesquisas sobre sistemas de produção de forragem consorciados ou não com leguminosas tem sido impulsionado, principalmente, pelo crescente interesse na redução do aporte de nitrogênio inorgânico no solo, visto o seu potencial de poluição ambiental (Crew & Peoples, 2004). Estes estudos buscam, além da redução na aplicação de N, avaliar o impacto das leguminosas sobre o valor nutritivo da forragem para a produção animal (Contreras-Govea et al., 2011).

Atualmente, os estudos com espécies de leguminosas vêm dando crescente enfoque ao sequestro de carbono, pela significativa contribuição das leguminosas para o estoque de carbono no solo (Abberton, 2010). Porém, quando do cultivo em consórcio, deve-se observar que a existência de competição interespecífica pode afetar o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas componentes, por diferenças fisiológicas nas espécies, modificações no microclima e o sombreamento mútuo (Rana et al., 2001; Rashid & Hamayatullah, 2003).

Koohi et al. (2014) relatam que a condição para o sucesso no estabelecimento do consórcio está diretamente associado a escolha das espécies presentes na mistura, as quais devem utilizar formas e fontes de nutrientes distintos, ou seja, ocupem nichos diferentes. Este comportamento divergente permite que as espécies atuem mutuamente de forma complementar. Assim, deve ser considerado o grau de compatibilidade existente, as características de crescimento e a competição por água, luz e nutrientes, bem como, a tolerância ao corte e ao pastejo, quando estes forem objeto de avaliação. Segundo Tiritan et al. (2013), desde que utilizadas espécies de gramíneas e leguminosas compatíveis, em termos de desenvolvimento da planta, os resultados são sempre favoráveis aos sistemas produtivos, com o aumento na produção de matéria seca, fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) e qualidade superior da forragem para alimentação animal.

No cultivo de sorgo associado a leguminosas, Arshad et al. (2012) alertam que, quando há grandes diferenças na taxa de crescimento e desenvolvimento fenológico e nos padrões entre as espécies, pode ser necessária a realização de vários ajustes nas práticas agrônomicas, tais como a mudança na forma de plantio e época de semeadura, de forma a obter um consórcio compatível e produtivo.

Na nutrição de plantas de sorgo granífero, o teor de proteína e a presença de compostos fenólicos são os aspectos mais importantes, e estas características variam de acordo com as mudanças nas condições agrônomicas (Koohi et al., 2014). Prover quantidades adequadas de nitrogênio, associado à alta adsorção deste pelas plantas é a melhor forma de aumentar as concentrações dos compostos nitrogenados, em especial o teor de clorofila (Jongschaap & Booij, 2004). Plantas com mais clorofila apresentam melhor fotossíntese, com isso, há aumento no tamanho das células e na divisão celular, produzindo mais assimilados e melhorando o rendimento.

Segundo Jaynes et al. (2001), da mesma forma que o fornecimento de nitrogênio suficiente otimiza o potencial de produção, desconsiderar a gestão adequada e aplicar quantidade excessiva de fertilizantes nitrogenados provoca desfecho desagradável. Em razão disso, a determinação da dose adequada de fertilizante, deve ser levada em consideração a fim de produzir mais forragem e reduzir o risco ambiental. Além disso, apesar de o sorgo utilizar nitrogênio de forma mais eficiente que o milho (Young & Long, 2000), a adubação inadequada de nitrogênio reduz a congregação de matéria seca e leva a uma redução do crescimento (Zhao et al., 2005; citado por Reza et al., 2012).

O uso de leguminosas em associação com o sorgo tem demonstrado ser uma alternativa viável, por reduzir a necessidade de adubação nitrogenada e melhorar a produtividade e o valor nutritivo da massa de forragem produzida, em diversos sistemas de produção (Chen et al., 2004; Lauriault & Kirksey, 2004; Contreras-Govea et al., 2009; Akhtar et al., 2013; Tiritan et al., 2013; Koochi et al., 2014). Em pastagens, Lira et al. (2006) sugeriram que a manutenção de 25% de leguminosas na composição botânica (peso seco), equivale a uma adubação anual aproximada de 100 kg de N/ha.

Na produção de silagem, a inclusão de leguminosas é uma opção para aumentar os níveis proteicos e reduzir os teores de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Porém, altos níveis de leguminosas na forragem (>40%) podem ocasionar mudanças nos processos fermentativos e comprometer a qualidade final da silagem, pela baixa ensilabilidade das leguminosas, que resulta dos baixos teores de carboidratos solúveis em água (CHOs) e de MS, associado à alta capacidade tampão (CT) (Evangelista et al., 2005; Jobim et al., 2008).

1.3 Leguminosas

As plantas da família *Fabaceae*, conhecidas como leguminosas (*Leguminosae*), são importantes fontes proteicas na alimentação humana e animal, sendo amplamente cultivadas em todo o mundo. Leguminosas apresentam como característica típica a produção dos frutos em forma de vagem, embora existam exceções, que segundo Doyle & Luckow (2003), desafiam a generalização sobre quase todos os atributos destas plantas, de forma que mesmo o tipo de fruta é altamente variável. Constituída por aproximadamente 727 gêneros e 19.325 espécies, considerada a terceira maior família de *Angiospermae* (Lewis et al., 2005), a família *Fabaceae* é dividida em três subfamílias (*Faboideae* ou *Papilionoideae*, *Caesalpinioideae* e *Mimosoideae*), sendo a subfamília *Faboideae* considerada a mais importante do ponto de vista econômico, por englobar espécies como o feijão, a soja, a ervilha, o grão de bico, a lentilha, dentre outras, as quais são vislumbradas pelo elevado conteúdo proteico dos seus grãos secos (Barroso et al., 2007).

Na produção de forragem, o uso de leguminosas tem apresentado excelentes resultados em diversas partes do mundo, o que tem estimulado os sistemas de plantio consorciado, principalmente com o surgimento de novas cultivares melhor adaptadas às diferentes regiões e propósitos. Em sistemas de pastejo, a introdução de leguminosa nas

pastagens evidencia a melhoria da produção animal em relação à pastagem exclusiva de gramínea (Carvalho & Pires, 2008). Do mesmo modo, isto pode ocorrer quando da conservação das forragens consorciadas na forma de feno ou silagem.

1.3.1 Feijão (*Phaseolus spp.*)

A origem evolutiva do gênero *Phaseolus* e sua diversificação primária ocorreram no continente americano, sendo difundida para a Europa, como planta ornamental, após o descobrimento da América. No entanto, a determinação exata do período de domesticação do feijão ainda é motivo de controvérsia entre os pesquisadores, existindo vestígios arqueológicos de cultivo das espécies que remontam a idades de 2.300 a 10.000 anos (Freitas, 2006, Bitocchi et al., 2012). Sabe-se, porém, que a maioria das variedades melhoradas de feijão é de origem andina (Bitocchi et al., 2012).

O gênero *Phaseolus* compreende aproximadamente 55 espécies, das quais apenas cinco são cultivadas: *Phaseolus vulgaris* (feijão comum); *P. coccineus* (feijão Ayocote); *P. lunatus* (feijão de lima); *P. acutifolius* (feijão tepari); *P. polyanthus*. (Broughton et al., 2003). Destas, o *Phaseolus vulgaris* é a espécie mais cultivada no mundo, estando presente em mais de 100 países e representando aproximadamente 95% da produção mundial de feijões (CEPEF, 2000). Com 2,93 milhões de toneladas e 2,83 milhões de hectares cultivados em 2013, o Brasil assume a terceira maior produção mundial de feijões, abaixo da República de Myanmar (Birmânia) e da Índia, com produções de 3,80 e 3,63 milhões de toneladas, respectivamente (FAOSTAT, 2014).

Segundo Abreu (2005), o feijão constitui uma excelente fonte proteica (em média 25% de proteína), rica em lisina, porém, pobre em aminoácidos sulfurados. Além disso, o feijão apresenta bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante. Desta forma, a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) é amplamente difundida em todo o território nacional, seja em sistema de monocultivo ou consorciado com outras culturas, estando presente, principalmente em sistemas de produção vinculados à agricultura familiar.

Assim como para as demais leguminosas, o cultivo do feijoeiro em sistemas de consórcio favorece a fixação do nitrogênio atmosférico (FBN) e aumenta a disponibilidade deste para as plantas. Desta forma, o consórcio pode ser uma alternativa, ainda que parcialmente, à adubação nitrogenada, visto que a cultura do feijoeiro, em condições de campo, pode alcançar níveis de produtividade de até 2.500

kg/ha. Entretanto, a eficiência da fixação de nitrogênio depende das condições fisiológicas da planta hospedeira, a qual fornece a energia necessária para que as bactérias possam realizar este processo de forma eficiente (Straliotto et al., 2003). Além disto, a FBN pode ser fortemente impactada pelos fatores abióticos como: pH, temperatura, deficiência de nutrientes, metais pesados, luminosidade, estresse hídrico e osmótico, por alterarem quantitativa e qualitativamente a população de rizóbio no solo, interferindo nas diferentes etapas da nodulação e na eficiência simbiótica (Figueiredo et al., 2007).

Segundo Mendes et al. (2008), a capacidade de FBN do feijoeiro ocorre em menor eficiência quando comparado à cultura da soja, de forma que, para a obtenção de rendimentos econômicos, faz-se necessária a suplementação nitrogenada na fase de estabelecimento da cultura, principalmente até que o processo de nodulação esteja plenamente estabelecido (Oliveira et al., 2003). Porém, a dose suplementar de N deve ser suficiente para proporcionar o bom desenvolvimento da planta, sem causar prejuízos na FBN. Visto que a aplicação de adubos nitrogenados reduz a FBN, mas não altera o potencial de aproveitamento, pela planta, do nitrogênio disponível no solo (Brito et al., 2011). No entanto, Straliotto et al. (2003) afirmam que o cultivo do feijoeiro em solos mais ricos em matéria orgânica, pode beneficiar o aproveitamento do nitrogênio do solo, pela disponibilização mais lenta deste.

1.3.2 Soja (*Glycine max*)

A cultura da soja (*Glycine Max* L. Merrill) teve como origem e domesticação o continente asiático, mais precisamente na região correspondente à China antiga (margens do rio Yangtse), com referências que data dos anos 2.838 a.C., sendo considerada uma planta sagrada e, portanto, permanecendo restrita ao oriente, seguindo suas culturas e tradições milenares (Chung & Singh, 2008). A soja foi expandida lentamente para as regiões mais ao sul e após para a Coreia, chegando ao Japão e ao sudeste da Ásia entre 200 a.C. e o século III d.C. (Christensen, 2012).

Somente no século XV, a soja foi introduzida no continente europeu, em países como a Alemanha, França e Inglaterra, como planta ornamental, diferentemente do propósito alimentar, que a China e o Japão mantinham. Devido a fatores climáticos e a ausência de conhecimento sobre a cultura da soja e suas exigências, as primeiras tentativas de produção na Europa fracassaram, sendo os norte-americanos quem, entre o

fim do século XIX e início do século XX, conseguiram desenvolver o cultivo comercial da soja, com o desenvolvimento de novas variedades mais ricas em óleos e expansão do cultivo (Christensen, 2012; CISoja, 2014).

Em 1882, a soja foi introduzida no Brasil, via Estados Unidos, pelo então professor da Escola de Agronomia da Bahia, Gustavo Dutra. Após, em 1891, realizaram-se novos estudos no Instituto Agrônomo de Campinas, em São Paulo, sendo a cultura da soja, neste período, avaliada no âmbito de planta forrageira, como produtora de grão para utilização na alimentação animal. Porém, datam de 1901 os registros do primeiro plantio de soja no Rio Grande do Sul, onde, pelas suas semelhanças climáticas com o local de origem (sul dos EUA) e a similaridade dos materiais genéticos, a cultura encontrou condições efetivas para se desenvolver e se expandir para outros estados, principalmente os que apresentam o bioma cerrado (Christensen, 2012). Atualmente, a soja é cultivada em praticamente todo território nacional e as variedades em uso são resultados dos melhoramentos genéticos, que originaram cultivares diferentes das sojas ancestrais encontradas na natureza, as quais eram plantas rasteiras que se desenvolviam naturalmente na costa leste da Ásia (Hymowitz, 1970; EMBRAPA, 2000).

As novas cultivares de soja proporcionaram ganhos consideráveis em qualidade e produtividade, sendo uma oleaginosa valorizada pelo teor e qualidade proteica do seu farelo e do óleo produzidos. No cenário mundial, a soja foi cultivada em cerca de 111,26 milhões de hectares no mundo todo, alcançando a produção de 276,40 milhões de toneladas no ano de 2013. O Brasil foi responsável por produzir 81,69 milhões de toneladas em 27,86 milhões de hectares, ficando abaixo dos Estados Unidos, com produção de 89,48 milhões de toneladas em 30,70 milhões de hectares cultivados (FAOSTAT, 2014). Segundo a Conab (2014), houve uma redução de 2,5% na estimativa da produção de soja, para a safra 2013/2014, por problemas climáticos.

A soja é uma planta anual, herbácea, ereta, autógama e com características morfológicas variáveis, as quais podem ser influenciadas pelo ambiente. Seu ciclo produtivo é variável, situando-se entre 75 e 200 dias, para as cultivares precoces e tardias, respectivamente (Sediyama, 2009). O sistema radicular da soja é constituído de raiz axial principal e de raízes secundárias, e assim como as demais leguminosas, apresentam nodulações resultantes da simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, responsáveis pela FBN e conseqüente redução da necessidade de adubação nitrogenada (Mascarenhas et al., 2005). Segundo Alves et al. (2006), a soja

apresenta elevada eficiência na fixação biológica, contribuindo com valores de 83 a 88% do nitrogênio exportado pela planta e implementando em até 193 kg/ha de N no solo, compensando ainda o montante de N, quando da colheita dos grãos. Assim, o índice de exportação de N pela cultura da soja equivale, normalmente, à proporção do N na planta derivado da FBN, caracterizando um balanço próximo da neutralidade para o solo (Zotarelli, 2000). Jensen & Hauggaard-Nielsen (2003) afirmam que até a colheita, as perdas de N oriundas da FBN são praticamente nulas, podendo haver aumento em função da qualidade do resíduo da colheita. Deve-se, porém, observar que os fatores de correção da fertilidade do solo, uso de inoculantes apropriados e o plantio direto são importantes para obtenção do balanço positivo de N no solo e a alta produtividade da cultura (Alves et al., 2003). A planta da soja apresenta baixo potencial de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados (cerca de 50%), o que aumenta a importância da FBN nesta cultura (Pavanelli & Araújo, 2009).

Além dos fatores relacionados à FBN, têm-se os fatores climáticos, que atuam diretamente sobre a germinação, desenvolvimento e produção da planta. Para o cultivo da soja, a água é tida como o principal fator capaz de alterar a produtividade no tempo e no espaço (FAO, 1995), aconselhando-se a sua implantação em regiões que apresentem precipitação pluviométrica entre 500 e 700 mm, com boa distribuição durante o ciclo produtivo (Albrecht, 2009). Deve-se também atentar à temperatura da região, a qual não pode ser inferior a 20°C durante o mês mais quente (Bonato et al., 2001). No entanto, baixas temperaturas podem provocar atrasos nas diferentes fases, enquanto o aumento excessivo pode provocar florescimento precoce, distúrbios na frutificação e acelerar a maturação dos grãos, ocasionando reduções na produção (Guimarães et al., 2008). Segundo Sedyama (2009), a temperatura é um fator que influencia em diversos processos tais como germinação, crescimento, floração, frutificação, reações químicas de respiração e fotossíntese e na absorção de água e nutrientes, devendo-se ter especial atenção quando do cultivo da soja.

Na alimentação animal, a soja é frequentemente utilizada como alimento concentrado na ração, na forma de farelo de soja, um subproduto das indústrias de óleos, o que onera os preços da produção (Gobetti et al., 2011). Porém, a soja pode ser cultivada com o propósito forrageiro, seja para a produção de massa verde, silagem ou feno. Neste sentido, o cultivo para produção de forragem, constitui uma alternativa para diminuir os custos com concentrados, e sua utilização como silagem, um diferencial para a venda da planta de soja (Evangelista et al., 2003).

Segundo Rezende et al. (2012), a soja se destaca para a produção de forragem pela elevada produção de MS e as suas características nutricionais, que associado à facilidade de mecanização da colheita, permite a obtenção de um alimento com custo reduzido e elevada qualidade. Porém, o rendimento forrageiro e valor nutricional estão diretamente associados ao tipo de cultivar e ao tipo de manejo adotado. Alcântara et al. (2011) observaram, no cultivo de soja consorciado com sorgo, maior rendimento de massa verde, matéria seca e proteína bruta na forragem produzida em relação ao monocultivo do sorgo.

Para a utilização como forragem, as recomendações agrônômicas para cultivo da soja são idênticas ao cultivo com o propósito de produção de grãos. No entanto, para a produção de silagem exclusiva de soja, devem-se respeitar a rigor todos os cuidados e recomendações com a cultura. O corte deve ser realizado na fase de enchimento de grãos (estádio R5), pois a antecipação ocasiona aumento no teor de proteína da silagem e diminui o valor de energia, devido à menor quantidade de óleo presente nos grãos, valores estes similares à silagem de milho, de 3 a 4% (Gobetti et al., 2011).

Em geral, as silagens de leguminosas são de difícil ensilabilidade, pelas características fermentativas do material ensilado. No entanto, de acordo com Gobetti et al. (2011), se considerados os parâmetros de pH, ácidos orgânicos, N-amoniaco em relação ao N-total e MS, a silagem de soja apresenta boa fermentação, o que refletirá na qualidade da silagem.

Segundo Evangelista et al. (2003), a silagem de soja supera, em valor nutritivo, a silagem de milho. Já, se comparada à silagem de capim, a silagem de soja apresenta maiores teores de MS e PB, menor FDN, maior ingestão de PB, maior digestibilidade da MS e melhor balanço de nitrogênio.

1.3.3 Ervilha (*Pisum sativum* L.)

A ervilha (*Pisum sativum* L.) é uma leguminosa anual, cuja origem é atribuída à Etiópia, algumas áreas do Mediterrâneo e Ásia Central, sendo este o principal centro de diversidade desta espécie (Zohary & Hopf, 1993). É uma cultura que está entre as primeiras espécies de plantas cultivadas pelo homem, existindo evidências de sua presença por volta de 7.000 – 6.000 anos a.C. (Castellane et al., 1990). Durante muito tempo, a principal forma de consumo da ervilha foi restrita aos grãos secos (inteiros ou

moídos), e apenas a partir do século XVIII se iniciou o consumo da ervilha verde (EMBRAPA, 1993).

No cenário mundial, a produção de ervilhas secas foi de 10,98 milhões de toneladas no ano de 2013, destacando-se como maiores produtores o Canadá, a Federação Russa, a Índia e a França, com produções de 3,34; 1,66; 0,62 e 0,56 milhões de toneladas, respectivamente. Entretanto, quanto à produção de ervilhas verdes, a produção mundial foi de 18,49 milhões de toneladas, estando as maiores produções na China, Índia e França, com importância de 11,50; 3,65 e 0,59 milhões de toneladas na safra de 2012. Neste âmbito, a França se destaca pela alta produtividade desta cultura, classificando-se como a melhor produtividade de ervilhas verdes e a quarta colocada na produtividade de ervilhas secas, com 19.204 e 3.973 kg/ha, respectivamente. No Brasil, o cultivo de ervilhas, para a produção de grãos secos, ocorre principalmente nos Estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal, porém a produção brasileira é inexpressiva, respondendo por apenas 4.500 toneladas na safra de 2013 (FAOSTAT, 2014).

De acordo com a Embrapa (1993), a cultura da ervilha apresenta bom desempenho em regiões de clima temperado, considerando-se como ideal temperatura entre 13 e 18°C. Temperaturas superiores a 27°C afetam drasticamente a produção, especialmente na época do florescimento e formação da vagem e a ocorrência de chuvas, durante as últimas semanas do ciclo produtivo, causa perdas na lavoura, em geral pela descoloração dos grãos.

Segundo Carvalho et al. (2012), a ervilha é uma cultura pouco exigente em água e o excesso prejudica a raiz, favorecendo o ataque de fungos do solo. Em condições de precipitação pluviométrica insuficiente, aconselha-se o uso de irrigações leves e frequentes durante o período de germinação e emergência das plantas, havendo maior exigência hídrica quando dos estádios de florescimento e de enchimento dos grãos. Desta forma, para garantir o sucesso do cultivo nas diferentes fases das culturas, deve-se realizar as irrigações antes que a disponibilidade de água no solo seja reduzida a níveis que alterem o metabolismo das plantas, comprometendo a produção.

O elemento mais importante para a ervilha é o fósforo, no entanto, deve-se tomar cuidado na forma de aplicação do adubo, dada a sensibilidade da ervilha a altas concentrações, portanto, recomenda-se a aplicação do fertilizante distando 5 cm para o lado e para baixo da semente, quando do plantio (EMBRAPA, 1993). Assim como as demais leguminosas, a ervilha pode associar-se simbioticamente com *Rhizobium*

leguminosarum e se beneficiar da fixação do N atmosférico, reduzindo o custo de produção. Isso também reduz os riscos de contaminação do lençol freático e dos mananciais, pelo uso intensivo dos fertilizantes nitrogenados em cultivos sucessivos (Azevedo et al., 2012).

A ervilha é considerada um alimento de excelente qualidade por apresentar em sua composição elevado teores de proteína, vitaminas do complexo B e minerais como cálcio, ferro, fósforo e potássio (Pereira, 1989). Ela possui 18 a 35% de proteína, 35 a 50% de amido e 4 a 7% de fibra (Carvalho et al., 2012). Além disso, os níveis elevados dos aminoácidos essenciais lisina e triptofano fazem com que a ervilha seja considerada um bom complemento dos cereais, os quais apresentam baixas concentrações destes aminoácidos (Rodiño et al., 2009).

Segundo Anderson et al. (2002), a ervilha pode ser utilizada como cultura forrageira, sendo normalmente cultivada em consórcio com cereais para aumentar a concentração de proteína da forragem. Além disso, as forragens mistas (ervilha-cereais) apresentam maior digestibilidade, maiores teores de proteína e melhor conteúdo energético. A melhora na qualidade da ração depende da proporção de ervilhas na forragem, maturação na colheita e da variedade da ervilha. A ervilha pode ser explorada em consorciação com cereais e conservada sob a forma de feno ou silagens, ou ainda utilizada em monocultivo (Barroso et al., 2007).

Em países como a França, onde há grande dependência da importação de alimentos ricos em proteínas, como a soja e seus produtos processados, para inclusão na alimentação animal, a ervilha tem sido impulsionada como potencial substituto na formulação das rações, sendo utilizada na forma conservada ou como forragem fresca. E por apresentar baixas concentrações de fatores antinutricionais, que não afetam o consumo e desempenho animal, os produtores podem utilizar sem a necessidade de processamento prévio, ao contrário da soja, por exemplo, que necessita de tratamento térmico, para inativação dos fatores antinutricionais, nas indústrias de extração de óleo ou nas fábricas de rações.

Na alimentação animal, a ervilha contribui com quantidades significativas de proteínas, carboidratos e aminoácidos, sendo considerado um excelente ingrediente para as rações de bovinos leiteiros, bovinos de corte, suínos e aves, devido a sua alta densidade energética - ELg (energia líquida de ganho) de 1,48; 0,68 e 0,59 Mcal/kg de MS para o grão, a silagem e o feno, respectivamente - boa palatabilidade e elevada digestibilidade (Lardy & Anderson, 2009). Além disto, a ervilha é fermentada mais

lentamente e completamente, no rúmen, que os cereais, mantendo a função ruminal estável e eficiente, o que pode servir para manter os animais "na alimentação" durante períodos de estresse e melhorar a taxa de crescimento e eficiência alimentar em relação aos outros ingredientes da ração (Anderson & Ilse, 2010).

1.3.4 Ervilhaca (*Vicia spp.*)

A ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) é uma leguminosa herbácea, prostrada a semiprostrada, trepadeira, de ciclo anual ou bianual, originária do sul da Europa, com boa adaptação às regiões de clima temperado ou subtropicais (Formentini, 2008). As *Vicia spp.* são cultivadas em vários países de clima temperado ou subtropicais, como pastagens de inverno com alto valor nutricional, sendo as espécies exóticas (*V. sativa* e *V. villosa*) de maior interesse econômico. (Bastos & Miotto 1996).

A *Vicia spp* é uma cultura sensível ao frio, à deficiência hídrica e ao calor, embora muitas plantas tenham se adaptado a invernos rigorosos e secos (Derpsch & Calegari, 1992); desenvolve-se bem em solos corrigidos ou já cultivados, com bons teores de cálcio, fósforo e sem problemas de acidez, embora seja capaz de se desenvolver em solos ácidos (pH até 4,5), na presença de alumínio e tolera solos básicos (pH até 8,2), bem como, suporta solos argilosos e solos pobres, desde que bem drenados (Florentin et al., 2001; Ucsarep, 2014). A cultura tolera precipitações entre 350 e 1.650 mm/ano, mas se desenvolve melhor em locais com precipitação superior a 750 mm/ano, sendo que, durante o período de chuva, a ervilhaca pode apresentar problemas com o excesso de umidade, permitindo o desenvolvimento de doenças por fungos. Ela tolera bem o calor e pode ser cultivada em baixas altitudes, desde que a umidade não seja elevada, não sendo adaptada ao clima tropical muito quente e úmido. Por não ser fotossensível, o período de floração é indeterminado e pode permanecer durante vários meses (Husson et al., 2008).

Segundo Smith & Valenzuela (2002), a ervilhaca é capaz de fixar até 33 kg de N/t/MS, sendo considerada uma das melhores plantas de cobertura visando a FBN. A parte vegetativa contém de 4 a 4,8% de N, sendo que 75 a 85% é originário da FBN, assim pode aportar de 100 a 180 kg de N/ha e até 220 kg de N/ha/ano, o equivalente à aplicação de 220 a 500 kg/ha/ano de ureia (Formentini, 2008; Ucsarep, 2014). Além disto, a disponibilização do N, quando da decomposição da ervilhaca, é relativamente rápida pela baixa razão C/N. A planta possui capacidade de extrair potássio do solo,

mesmo quando em pequenas quantidades, tornando-o disponível para as culturas sucessoras (Smith & Valenzuela, 2002) e, em menor grau, é capaz de reciclar o fósforo (Husson et al., 2008).

A ervilhaca pode ser utilizada como proteção e adubação verde do solo ou como forrageira (na forma de pastejo direto, feno ou silagem) podendo ainda ser cultivada em consórcio juntamente com a aveia, centeio, cevada, azevém e outras gramíneas, melhorando as características nutricionais da forragem, pelo aumento no teor de proteína e melhora da palatabilidade (Formentini, 2008). De acordo com Smith & Valenzuela (2002), a ervilhaca é amarga quando verde, sendo mais palatável quando seca. Além disto, quando em consórcio, as gramíneas servem de suporte ao crescimento e desenvolvimento das ervilhacas, por estas serem plantas trepadeiras, e assim proporcionam maior resistência ao pastejo, desde que observadas as condições de manejo da gramínea.

O uso da ervilhaca para a produção de silagens não é muito estudado no Brasil, porém, pela sua adaptabilidade de consórcio com as gramíneas e a redução na necessidade do aporte de N, alguns países europeus cultivam em consórcio com milho ou sorgo para a confecção de silagens, frequentemente, utilizadas na alimentação dos rebanhos leiteiros.

A ervilhaca constitui uma fonte importante de proteína e mineral, com valores de proteína digestível entre 135 a 180 g/kg de MS, digestibilidade de 575 a 783 g/kg de MS, valores de fibra em detergente ácido (FDA) entre 282 a 326 g/kg de MS (FAO, 2014), proteína bruta igual a 240 g/kg de MS, celulose igual a 880 g/kg de MS e eficiência de produção de leite de 0,71 (GSDM, 2008). Como todas as forragens de elevado valor nutricional, a ervilhaca deve ser fornecida em adição a outras forragens, especialmente gramíneas, para evitar os riscos de timpanismo, sendo excelente a sua associação com a aveia (Husson et al., 2008).

Segundo Barros et al. (2001), diversos trabalhos descrevem a presença de glicosídeos cianogênicos em sementes de *V. sativa* e sua associação a ocorrência de intoxicação em bovinos e lesões hepatotóxicas e de fotossensibilização em equinos. Entretanto, os mesmo autores relatam a maior incidência de casos associados ao pastoreio da ervilhaca peluda (*V. villosa*).

1.3.5 Trevo (*Trifolium alexandrinum*)

O trevo de Alexandria, também conhecido como trevo alexandrino, trevo egípcio ou berseem/bersim, é originário da região Leste do Mediterrâneo, sendo a cultura pura de origem Síria e introduzida no Egito por volta do século VI d.C., onde era cultivada intensivamente no vale do Nilo. O trevo de Alexandria representava a base da agricultura egípcia, sendo utilizado como forragem e adubação verde (Trabut, 1923; Hackney et al., 2007). Atualmente, é uma cultura amplamente cultivada em sua área de origem, como forragem de alta qualidade para a conservação, e foi introduzida em diversos países como Índia, Paquistão, África do Sul, Estados Unidos e Austrália, onde também é utilizada com o propósito principal da conservação de forragens (Hackney et al., 2007).

O trevo (*Trifolium alexandrinum*) é uma leguminosa com hábito de crescimento ereto e de raiz principal rasa. É uma cultura anual de ciclo rápido, permitindo de dois a cinco cortes na fase de crescimento, com primeiro corte entre 60 e 70 dias (Frick et al., 2013). Tem um baixo nível de sementes duras e normalmente não apresenta ressemeadura natural (Garcia, 2000). Devido seu ciclo, considera-se uma cultura agressiva, quando da implantação em consórcio, podendo ser semeada mais tardiamente pelo risco de cobrir a cultura e atrapalhar no desenvolvimento e na colheita (Lecat, 2012).

O trevo é uma planta para cultivo em climas amenos, que necessita de elevadas temperaturas de germinação (ideais em torno de 25°C) e é sensível a geadas, ocorrendo a morte quando submetidos a temperaturas inferiores a -6,6°C (Clark, 2007; Frick et al., 2013). Adapta-se a vários tipos de solos, porém desenvolve melhor em solos férteis, de textura média, de média a baixa salinidade, bem drenados e pH neutro (Hackney et al., 2007). Quanto aos nutrientes no solo, o fósforo e o boro são considerados os principais limitantes para o crescimento adequado do trevo, principalmente na fase inicial, sendo recomendada a aplicação de correção de acordo com as características de cultivo e de solo (Clark, 2007). Assim como as demais leguminosas, o trevo é capaz de realizar a FBN, podendo incorporar de 120 a 150 kg de N orgânico/ha, o que corresponde de 25 a 30 kg de N/t/MS, sendo, em média, de 8 a 10 kg de N/t/MS fixado pela simbiose (Waligora & Tetu, 2008), ocorrendo maior FBN quando os solos apresentam menores concentrações de N. Além disso, se cultivado até a maturidade sem corte, o trevo proporciona menor lixiviação do N (Clark, 2007).

Embora possa ser cultivado sem irrigação, o trevo apresenta exigência elevada de água, sendo frequente a produção irrigada. Segundo Hackney et al. (2007), para obtenção de boa produtividade, sem uso de irrigação, a região deve apresentar potencial de precipitação pluviométrica entre 550 a 750 mm/ano. Quando do cultivo sem irrigação, recomenda-se semear de 2 a 4 kg/ha de sementes após as chuvas do outono, porém, quando do cultivo irrigado, pode-se semear mais de 6 kg/ha de sementes no fim do verão. Na França, a semeadura ocorre geralmente na primavera, com densidades de 20 a 30 kg/ha de sementes, em monocultivo, podendo obter em vários cortes, a produção de 4 a 5 t de MS/ha sem cultivo irrigado, e de 8 a 16 t de MS/ha nas culturas irrigadas (Mazoyer et al., 2002).

O trevo é uma espécie muito versátil, podendo ser utilizada em pastejo direto, na confecção de feno e silagem e também como cobertura e adubação verde. No entanto, seu uso na forma de forragem conservada é mais adequado, visto que a cultura pode ser facilmente danificada em condições de pastejo, pela alta taxa de crescimento em certos pontos. A forragem verde tem alta digestibilidade e é rica em proteína, permitindo melhores desempenhos dos rebanhos leiteiros, porém a composição e o valor da forragem variam amplamente de acordo com a forma de obtenção, irrigada ou não (Merabet et al., 2005). Segundo Waligora & Tetu (2008), a produção de MS pode ser superior a 6,5 toneladas de MS/ha no primeiro corte e até 5 toneladas de MS/ha nos cortes remanescentes. Hackney et al. (2007), avaliando a produção acumulada de MS do trevo, observaram produtividade que varia de 2,6 a 7,4 toneladas de MS/ha/corte, com digestibilidade da MS de 790 e 680 g/kg, proteína bruta igual a 160 e 240 g/kg e energia metabolizável de 9,7 e 11,4 MJ/kg MS, respectivamente, considerado, de acordo com Clark (2007), de valor alimentar igual ou superior ao trevo vermelho e a alfafa. Além de nenhum caso de timpanismo estar associado ao consumo desta espécie.

1.4 Considerações finais

O consórcio entre gramíneas e leguminosas tem se mostrado uma alternativa viável para produção de forragem com melhor valor nutricional, dentre as pesquisas já realizadas. Deve-se, porém, utilizar espécies “compatíveis”, quanto às suas características fisiológicas, de forma a obter forragens em quantidade e qualidade adequadas à destinação final (cobertura do solo, pastagem, fenação ou silagem).

Referências

(Normas: Semina: Ciências Agrárias)

- ABBERTON, M. Enhancing the role of legumes: potential and obstacles. In: ABBERTON, M.; CONANT R.; BATELLO, C. (Eds.) *A Guide to Feeding Field Peas to Livestock*. 11.ed. Roma: Food and Agriculture Organization, 2010. p. 176-187.
- ABREU, A.F.B. [2005] *Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais*. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/>>. Acesso em: 15/09/2014.
- AKHTAR, M.F.; AHMAD, A.H.; ZAMIR, M.S.I.; KHALID, F.; MOHSIN, A.U.; AFZAL, M. Agro-qualitative studies on forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) sown alone and in mixture with forage legumes. *Pakistan Journal of Science*, Lahore, v. 65, n. 2, p. 179-185, 2013.
- ALBRECHT, L.P.; LUCCA E BRACCINI, A.; ÁVILA, M.R.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C.; STÜLP, M. Sementes de soja produzidas em épocas de safrinha na região oeste do Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 121-127, 2009.
- ALCANTARA, H.P.; REZENDE, P.M.; CARVALHO, E.R.; PASSOS, A.M.A.; BOTREL, E.P. Consórcio sorgo-soja. XVI. Cortes, épocas de semeadura e cultivares de soja na produção de forragem. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 116-124, 2011.
- ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*, Wageningen, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003.
- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 3, p. 449-456, 2006.
- ANDERSON, V.; HARROLD, R.; LANDBLOM, D.; LARDY, G.; SCHATZ, B.; SCHROEDER, J.W. A guide to feeding field peas to livestock. *NSDU Extensio Service*, Fargo, AS-1224, n. 1, p. 1-4, 2002.
- ANDERSON, V.; ILSE, B. [2010]. Field peas as feed for livestock. Disponível em: <<http://www.northernpulse.com/uploads/resources/691/npga-feeding-brochure-9-2010.pdf>>. Acesso em: 04/11/2014.

- ARAÚJO, P.H.C.; SILVA, F.F.; FÉRES, J.G.; BRAGA, M.J. [2011]. *Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região nordeste do Brasil*. Disponível em: <http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2011/docs/2011_uma_analise_impacto.pdf>. Acesso em: 21/01/2014.
- ARSHAD, M. Yield comparison of structural carbohydrates in sweet sorghum and legumes under single and double cropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, Dubai, v. 12, n. 2, p. 210-223, 2012.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. *Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil*. São Paulo: EMBRAPA, 2008. 84p.
- AUDEBERT, G.; NOVAK, S.; BOLANOS, E.; EMILE, J.C. Reussier son sorgho ensilage. In: *Recolte et valorisation de fourrages conserves: les clés de la réussite. Actes des Journées Professionnelles de l'Association Française pour la Production Fourragère*. Paris, 2011.
- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; MOREIRA, F.M.S.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C.; LISBOA, C.C. Efeito do boro na nodulação da ervilha cultivada em solos de várzea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1137-1143, 2002.
- BADGLEY, C.; MOGHTADER, J.; QUINTERO, E.; ZAKEM, E.; CHAPPELL, M.J.; VÁZQUEZ, K.A.; SAMULON, A.; PERFECTO, I. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Cambridge, v. 22, n. 2, p. 86-108, 2007.
- BARROS, C.S.L.; FIGHERA, R.A.; ROZZA, D.B.; RECH, R.R.; SALLIS, S.V.; LANGOHR, I.M. Doença granulomatosa sistêmica em bovinos no Rio Grande do Sul associada ao pastoreio de ervilhaca (*Vicia spp*). *Pesquisa Veterinária Brasileira*, Soropédica, v. 21, n. 4, p. 162-171, 2001.
- BARROSO, M.R.; MAGALHÃES, M.J.; CARNIDE, V.; MARTINS, S.; VEGAS, C.A.; CACHÓN, M.R. Caracterização e avaliação de diferentes espécies de leguminosas grão na região de Trás-os-Montes. 1.ed. Mirandela: Candeias, 2007, 65p.
- BASTOS N.R.; MIOTTO S.T.S. O gênero *Vicia* L. (Leguminosae - Faboideae) no Brasil. *Pesquisas. Botânica*, São Leopoldo, n. 46, p. 85-180, 1996.
- BEAN, B.; MARSALIS, M. Corn and sorghum silage production considerations. In: HIGH PLAINS DAIRY CONFERENCE, 2012, Lubbock. *Proceedings...* Lubbock: Amarillo, 2012. p.1.
- BITOCCHI, E.; NANNI, L.; BELLUCCI, E.; ROSSI, M.; GIARDINI, A.; ZEULI, P.S.; LOGOZZO, G.; STOUGAARD, J.; MCCLEAN, P.; ATTENE, G.; PAPA, R. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v. 109, n. 14, p. 788-796, 2012.
- BONATO, E.R.; LANGE, C.E.; BERTAGNOLLI, P.F. Desempenho de cultivares de soja de diferentes ciclos em sementeiras de dezembro, na região do Planalto médio do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 935-940, 2001.
- BRITO, M.M.P.; MARAOKA, T.; SILVA, E.C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p. 206-215, 2011.

- BROUGHTON, W.J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil*, Wageningen, v. 252, n. 1, p. 55-128, 2003.
- CARVALHO, G.G.P.; PIRES, A.J.V. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, v. 57, n. R, p. 103-113, 2008.
- CARVALHO, J.A.; REZENDE, F.C.; AQUINO, R.F.; FREITAS, W.A.; OLIVEIRA, E.C. Produção da ervilha cultivada em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 44-50, 2012.
- CASTELLANE, P. D.; NICOLOSI, W. M.; HASEGAWA, M. Produção de sementes de hortaliças. Jaboticabal: FCAV; FUNEP, 1990. 261 p.
- CEPEF. Feijão: recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul. 1.ed. Santa Maria: UFSM, 2000. 80p.
- CHEN, C.; WESTCOTT, M.; NEILL, K.; WICHMAN, D.; KNOX, M. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 6, p. 1730-1738, 2004.
- CHRISTENSEN, T.N.S. *Fenasoja: A feira, a festa, o espetáculo*. 1. ed. Santa Rosa: Kunde, 2012, 48p.
- CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.
- CISOja. *Histórico da soja*. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/index.php?p=historico>>. Acesso em: 17/08/2014.
- CLARK, A. *Managing cover crops profitably*. 3ª ed. Beltsville: SARE, 2007, 244p.
- COMBRES, A [2013]. *L'irrigation en France: les disponibilités en eau et la gestion par l'organisme Unique (OU)*. Disponível em: <<http://www.coordinationrurale.fr/lirrigation-en-france-les-disponibilites-en-eau-et-la-gestion-par-lorganisme-unique-ou.html>>. Acesso em: 02/06/2014.
- CONAB. *Levantamento da safra de grãos 2013/2014*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_07_09_09_36_57_10_levantamento_de_graos_julho_2014.pdf>. Acesso em: 05/10/2014.
- CONTRERAS-GOVEA, F.; MARSALIS, M.; ANGADI, S.; SMITH, G.; LAURIAULT, L. M.; VANLEEUEWEN, D. Fermentability and nutritive value of corn and forage sorghum silage when in mixture with lablab bean. *Crop Science*, Madison, v. 51, n. 3, p. 1307-1313, 2011.
- CONTRERAS-GOVEA, F.E.; LAURIAULT, L.M.; MARSALIS, M.; ANGADI, S.; PUPPALA, N. Performance of forage sorghum-legume mixtures in southern High Plains, USA. *Forage and Grazinglands*, Madison, v. 7, n. 1, p. 401-414, 2009.
- CREW, T.E.; PEOPLES, M.B. Legume versus fertilizer source of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Philadelphia, v. 102, n. 3, p. 279-297, 2004.
- DEMARCHI, J.J.A.A.; BOIN, C.; BRAUN, G. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de silagens de alta qualidade. *Revista de Zootecnia Nova Odessa*, Nova Odessa, v. 33, n. 3, p. 111-136, 1995.

- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).
- DIDIER, G. *Culture et utilisation du sorgho grain ensilé en plante entière pour l'engraissement des taurillons*. Compte rendu d'essai n° 91093 – CEESO/SOUAL. Institut de l'Élevage, 1991. 32p.
- DOYLE, J.J.; LUCKOW, M.A. The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiology*, Rockville, v. 131, n. 3, p. 900-910, 2003.
- EMBRAPA. *As culturas da ervilha e da lentilha*. 1.ed. Brasília: EMBRAPA, 1993, 56p.
- EMBRAPA. *A cultura da soja no Brasil - Centro Nacional de Pesquisa de Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2000, 179p.
- EMILE, J.C.; LE ROY, P.; BOURGOIN, F. ; AL RIFAI, M. Comparaison de types de sorgho ensilés pour des vaches laitières. In: RENCONTRE RECHERCHE RUMINANTS, 16, 2009, Paris, *Proceedings...* Paris: 3R, 2009. p. 51.
- EVANGELISTA, A.R.; RESENDE, P.M.; MACIEL, G.A. *Uso da soja [Glycine max (L.) Merrill] na forma de forragem*. Lavras: UFLA, 2003. 36p.
- EVANGELISTA, A.R.; ABREU, J.G.; AMARAL, P.N.C.; PEREIRA, R.C.; SALVADOR, F.M.; LOPES, J.; SOARES, L.Q. Composição bromatológica de silagens de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) aditivadas com forragem de leucena (*Leucaena leucocephala* (LAM.) Dewit). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 2, p. 429-435, 2005.
- FAO. *Climate change and food security: a framework document*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2008. 107p.
- FAO. *Climate change, water and food security*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2011. 200p.
- FAO. *El cultivo de la soja en los trópicos: mejoramiento y producción*. Roma: Food and Agriculture Organization, 1995, 254p.
- FAO. *Grassland species - Vicia sativa L.* Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agn/AGPC/doc/gbase/data/Pf000505.HTM>>. Acesso em: 05/09/2014.
- FAO. [2012] *Production 2012*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em: 23/02/2014.
- FAO. *World agriculture: towards 2015/2030*. Rome: Food and Agriculture Organization, 2003. 106p.
- FAOSTAT. *Production of commodity in selected country 2013*. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 24/09/2014.
- FIGUEIREDO, M.V.B.; BURITY, H.A.; MARTINEZ, C.R.; CHANWAY, C.P. Drought stress response on some key enzymes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) nodule metabolism. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Dordrecht, v. 23, n. 2, p. 187-193, 2007.
- FISCHER, G.; TUBIELLO, F.N.; VAN VELTHUIZEN, H.; WIBERG, D.A. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, Philadelphia, v.74, n.7, p.1083-1107, 2007.

- FLORENTIN, M.A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. *Abonos verdes y rotacion de cultivos en siembra directa: Pequeñas propiedades*. 1.ed. San Lorenzo: MAG, 2001, 84p.
- FORMENTINI, E.A. *Cartilha sobre adubação verde e compostagem*. 1.ed. Vitória: INCAPER, 2008, 27p.
- FREITAS, F.O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1199-1203, 2006.
- FRICK, R.; MOSIMANN, E.; AEBI, P.; SUTER, D.; HIRSCHI, H. Essais de variétés de trèfle d'Alexandrie et de trèfle Incarnat. *Recherche Agronomique Suisse*, Posieux, v. 4, n. 6, p. 296 - 301, 2013.
- GARCIA, J. A. INIA CALIPSO: Nuevo cultivar de Trébol alejandrino. Montevideo: INIA, 2000, 10p. (Boletín de divulgación, 70).
- GAUFICHON, L.; PRIOUL, J.L.; BACHELIER, B. *Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse?* 1.ed. France: Fondation FARM, 2010. 61p.
- GOBETTI, S.T.C.; NEUMANN, M.; OLIVEIRA, M.R.; OLIBONI, R. Produção e utilização da silagem de planta inteira de soja (*Glycine max*) para ruminantes. *Ambiência*, Guarapuava, v. 7, n. 3, p. 603-616, 2011.
- GSDM [2008]. *Conduite des systèmes de culture sur couverts végétaux et affouragement des vaches laitières. Guide pour les hautes terres de Madagascar*. Disponível em: <http://gsdm-mg.org/?dl_id=57>. Acesso em: 18/09/2014.
- GUIMARÃES, F.S.; REZENDE, P.M.; CASTRO, E.M.; CARVALHO, E.A.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, E.R. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1099-1106, 2008.
- HACKNEY, B.; DEAR, B.; CROCKER, G. Berseem clover. *Primefact NSW - Department of Primary Industries*, Australian, v. 388, n. xx, p. 1 - 3, 2007.
- HAMMER, G.L. Pathways to prosperity: Breaking the yield barrier in sorghum. *Agricultural Science*, Brisbane, v. 19, n. 2, p. 16-22, 2006.
- HANASAKI, N.; KANAE, S.; OKI, T.; MASUDA, K.; MOTOYA, K.; SHIRAKAWA, N.; SHEN, Y.; TANAKA, K. An integrated model for the assessment of global water resources Part 2: Applications and assessments. *Hydrology and Earth System Sciences*, Karlsruhe, v. 12, n. 4, p. 1027-1037, 2008.
- HUSSON, O.; CHARPENTIER, H.; RAZANAMPARANY, C.; MOUSSA, N.; MICHELLON, R.; NAUDIN, K.; RAKOTOARINIVO, C.; RAKOTONDAMANANA; SEGUY, L. *Vesce velue: Vicia villosa. Manuel pratique du semis direct à Madagascar*, Antananarivo, v. 3, n. 3, p. 1 - 12, 2008.
- HYMOWITZ, T.; SHURTLEFF, W.R. Debunking soybean myths and legends in the historical and popular literature. *Crop Science*, Madison, v. 45, n. 2, p. 473-476, 2005.
- IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; Van der Linden, P.J.; Hanson, C.E. (Eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976p.

- JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; MEEK, D.W. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 30, n. 4, p. 1305-1314, 2001.
- JENSEN, E.S.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil*, Wageningen, v. 252, n. 1, p.177-186, 2003.
- JONGSCHAAP R.E.E.; BOOIJ, R. Spectral measurements at different spatial scales in potato: Relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 205-218, 2004.
- KOOHI, S.S.; NASROLLAHZADEH, S.; RAEI, Y. Evaluation of chlorophyll value, protein content and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.)/ mungbean (*Vigna radiate* L.) intercropping. *International journal of Biosciences*, Rajshahi, v. 4, N. 8, p. 136-143, 2014.
- LARDY, G.; ANDERSON, V. Alternative Feeds for Ruminants. *NSDU Extensio Service*, Fargo, AS-1182, n. 6, p. 1-24, 2009.
- LAURIAULT, L.M.; KIRKSEY, R.E. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass-legume intercrops in the Southern High Plains. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 2, p. 352-358, 2004.
- LECAT, A. [2012] Les engrais verts de légumineuses semés sous couvert en bio. Chambre d'Agriculture de région du Nord-Pas de Calais. Disponível em: <<http://www.agriculture-npdc.fr/.../Bio/engrais%20vert.pdf>>. Acesso em: 02/09/2014.
- LEGARTO, J. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages*, Versailles, n. 163, p. 323-338, 2000.
- LEWIS, G.P.; SCHRIRE, B.; MACHINDER, B.; LOCK, M. *Legumes of the world*. Kew: Royal Botanic Gardens, 2005, 577p.
- LIRA, M.A., SANTOS, M.V.F., DUBEUX, J.C.B. E MELLO, A.C.L. Sistemas de produção de forragem: alternativas para sustentabilidade da pecuária. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 35, n. suppl., p. 491-511, 2006.
- MARGULIS, S.; DUBEUX, C.B.S. *Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades*. São Paulo: IBEP, 2010. 82 p.
- MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R, T.; WUTKE, E, B. Informações técnicas - Nitrogênio: a soja aduba a lavoura da cana. *O Agrônomo*, Campinas, v. 1, n. 57, p. 12-13, 2005.
- MAZAHERI, D. *Intercropping*. 1. ed. Iran: Tehran University Press, 1993. 262 p.
- MAZOYER, M.; AUBINEAU, M.; BERMOND, A.; BOUGLER, J.; NEY, B.; ROGER-ESTRADE, J. *Larousse agricole*. 4. ed. Quebec: Larousse, 2002, 623p.
- MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G.; CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p.1053-1060, 2008.

- MERABET, B.A.; BASSAID, F.; ABDELGUERFI, A.; DAOUD, Y. Production et qualité fourragère du trèfle d'Alexandrie en fonction de l'alimentation hydrique en Mitidja (Algérie). *Fourrages*, Versailles, n. 181, p. 179 - 191, 2005.
- NASCIMENTO, W.G.; BARRIÈRE, Y.; CHARRIER, X.; HUYGHE, C.; EMILE, J.C. Evaluation of sweet grain sorghum for dairy cows as an alternative to irrigated maize silage. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 20., 2005, Eire. *Proceedings...* Eire: University College Dublin, 2005. p. 679.
- NELLEMANN, C.; MACDEVETTE, M.; MANDERS, T.; EICKHOUT, B.; SVIHUS, B.; PRINS, A.G.; KALTENBORN, B.P. *The environmental food crisis: the environment's role in averting future food crises*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, Norway: Birkeland Trykkeri AS, 2009. 104p.
- NEUMANN, M.; FIGUEIRA, D.N.; BUMBIERIS JUNIOR, V.H.; JOBIM, C.C. Cultura de sorgo: potencial dos materiais disponíveis para produção de silagens de qualidade. In: SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 5., 2014, Maringá. *Anais...* Maringá: UEM/CCA/DZO, 2014. p. 89.
- OLIVEIRA, A.P.; SILVA, V.R.F.; ARRUDA, F.P.; NASCIMENTO, I.S.; ALVES, A.U. Rendimentos de feijão caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 1, p.77-80, 2003.
- OLIVER, A. L.; PEDERSEN, J.F.; GRANT, R.J.; KLOPFENSTEIN. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Science*, Madison, v. 45, n. 6, p. 2234-2239, 2005.
- PAVANELLE, L.E.; ARAÚJO, F.F. Fixação biológica de nitrogênio em soja em solos cultivados com pastagens e culturas anuais do oeste paulista. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 21-29, 2009.
- PAZIANI, S.F. Produção de milho e sorgo para silagem no estado de São Paulo. *Pesquisa & Tecnologia*, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 1-4, 2011.
- PEREIRA, A. S. Ervilha: Integração pesquisa/Iniciativa Privada. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.14, p.52-64, 1989.
- PESCE, D.M.C.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, N.M; BORGES, I.; RODRIGUES, J.A.S. Porcentagem, perda e digestibilidade in vitro da matéria seca das silagens de 20 genótipos de sorgo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 52, n. 3, p. 250-255, 2000.
- PYE-SMITH, C. *Pour une agriculture intelligente face au changement climatique*. Wageningen, Pays-Bas: Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale, 2012. 4 p. (Note Politique, 9).
- RANA, R.S.; SINGH, B.; NAGI, S.C.; SINGH, B. Management of maize/legume intercropping under mid-hill sub-humid conditions. *Indian Journal of Agricultural Research*, New Delhi, v. 35, n. 2, p. 100-103, 2001.
- RASHID, A.; HIMAYATULLAH. Effect of planting geometry and legumes intercropping system on the yield of sorghum. *Asian Journal of Plant Science*, Singapore, v. 2, n. 3, p. 361-364, 2003.

- REZA, Z.O.; ALLAHDADI, I.; MAZAHARI, D.; AKBARI, G.A.; JAHANZAD, E.; MIRSHEKARI, M. Evaluation of quantitative and qualitative traits of forage sorghum and lima bean under different nitrogen fertilizer regimes in additive - replacement series. *Journal of Agricultural Science*, Toronto, v. 4, n. 6, p. 223-235, 2012.
- REZENDE, P.M.; CARVALHO, E.R.; PASSOS, A.M.A.; MARTINEZ, R.A.S. Épocas de semeadura e cultivares de soja na produção de forragem. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 557-565, 2012.
- RODIÑO, A.P.; HERNÁNDEZ-NISTAL, J.; HERMINA, M.; DE RON, A.M. Source of variation for sustainable field pea breeding. *Euphytica*, Wageningen, v. 166, n. 1, p. 95-107, 2009.
- RODRIGUES, J. A. S. R.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. S.; CASELA, C. R.; PITTA, G. V. E. *BRS 610 – híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 3 p. (Comunicado Técnico, 102).
- SEDIYAMA, T. *Tecnologias de produção e usos da soja*. 1. ed. Londrina, PR: Mecenaz, 2009, 314 p.
- SMITH, J.; VALENZUELA, H. [2002] *Wolypod vetch*. Disponível em: <<http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/GreenManureCrops/woollypodvetch.pdf>>. Acesso em: 20/09/2014.
- STERN, N. *The Economics of Climate Change – the Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.
- STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G.; MERCANTE, F.M. [2003] Cultivo do Feijoeiro Comum. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/fbnitrogenio.htm>>. Acesso em: 25/09/2014.
- TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H.; MINUTTI, C.R.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Bromatological composition of sorghum, millet plant and dwarf-guandu at different cut times in intercropping and monoculture. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 35, n. 2, p. 183-190, 2013.
- TRABUT, L. Le Bersim ou Trèfle d'Alexandrie. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Coloniale*, Paris, v. 3, n. 21, p. 333-342, 1923.
- UCSAREP. Complete crop summary of hairy vetch. Sustainable Agriculture Research and Education Program, University of California, Davis. Disponível em: <http://www.sarep.ucdavis.edu/cgi-bin/CCrop.exe/show_crop_21>. Acesso em: 18/09/2014.
- VERMEULEN, S.J.; CAMPBELL, B.M.; INGRAM, J.S.I. Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, v.37, n.2, p.195-222, 2012.
- VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.
- WALIGORA, C; TETU, T. Légumineuse: Il est urgent de les réhabiliter. *Techniques Culturelles Simplifiées*, Metz, v. 48, n. 3, p. 12 - 22, 2008.

- WHO [2007]. *The world health report: a safer future, global public health security in the 21st century*. Disponível em: < [http:// www.who.int/whr/2007/whr07_ en.pdf](http://www.who.int/whr/2007/whr07_en.pdf)>. Acesso em: 23/01/2014.
- YOUNG, K.; LONG, S.P. Crop ecosystem responses to climatic change: maize and sorghum. In: REDDY, K.R.; HODGES, H.F. (Eds.) *Climate change and global crop productivity*. 1.ed. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p.107-131.
- ZHANG, F.; LI, L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, Wageningen, v. 248, n. 1, p. 305-312, 2003.
- ZOHARY, D.; HOPF, M. *Domestication of plants in the old world*. Oxford: Clarendon Press, 1993. 182p.
- ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, supl. especial, p. 170-189, 2009.
- ZOTARELLI, L. *Balço de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR*. 2000. 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

II – OBJETIVOS GERAIS

Avaliar as características produtivas e morfológicas de culturas de sorgos consociados com leguminosas, e estimar o potencial de sequestro de carbono e o valor nutricional das forragens. Objetivou-se, ainda, estudar as perdas de matéria orgânica, a estabilidade aeróbia e o valor nutricional de silagens produzidas a partir das associações entre sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão. Além de verificar os efeitos da utilização destas silagens, para alimentação de vacas da raça Holandês, sobre parâmetros comportamentais, produção e composição do leite.

III - Impacto agrônômico e ambiental da associação entre sorgo e leguminosas para produção de forragem

Agronomic and environmental impact of the association between sorghum and legumes for forage production

(Normas: Semina: Ciências Agrárias)

RESUMO: Objetivou-se avaliar o potencial produtivo e o valor nutricional de duas variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivado em consórcio com diferentes espécies de leguminosas e submetidos a diferentes condições de estabelecimento, além de verificar o potencial de sequestro de carbono dos diferentes tratamentos. O experimento foi conduzido em 453,6 m² de área plantada, dividido em 72 parcelas experimentais de 6,3 m². Os tratamentos consistiram de dois sorgos graníferos (sorgo anão - cv. Surgo e sorgo gigante - cv. Sweet Virginia BMR), associados ou não a seis espécies de leguminosas: soja (*Glycine max* L.), ervilha (*Pisum sativum* L.), ervilhaca (*Vicia villosa* L.), trevo de alexandria (*Trifolium alexandrinum* L.), feijão espanhol (*Phaseolus coccineus* L.) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L. - variedades Merveille de Venise, Neckargold e Alaric), submetidos a diferentes formas de estabelecimento das culturas. Os dados foram analisados pelo software SAS, por meio de um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições cada. Observou-se que o cultivo consorciado não ocasionou diferença significativa na produtividade da forragem, exceto entre as associações do sorgo anão com soja, em densidade padrão e baixa densidade de cultivo, em relação ao sorgo gigante em consórcio com o feijão Neckargold, em alta densidade de plantio. Os valores máximos de sequestro de carbono (C) foram observados na associação sorgo anão-soja, em densidade padrão (7,35 t C ha⁻¹). Os níveis crescentes de leguminosas aumentaram os teores de proteína (PB) e reduziram a razão C/N das forragens consorciadas. As associações das leguminosas com as gramíneas provocaram aumento nos teores de lignina, sendo mais expressivo nos tratamentos associados ao sorgo gigante (bmr). Porém, a inclusão das leguminosas e/ou a forma de estabelecimento da cultura não proporcionaram melhora na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) dentro do mesmo tipo de sorgo. As associações dos sorgos com leguminosas proporcionam aumento nos teores de proteína, sem, no entanto, melhorar a produtividade e a DIVMS das forragens, independente da forma de estabelecimento. O sequestro de carbono apresenta correlação positiva com a produção de matéria seca da forragem.

Palavras-chave: consórcio, morfologia, produção, sequestro de carbono

ABSTRACT: The objective was to evaluate the productive potential and the nutritional value of two varieties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) intercropped with different legume species and under different establishment conditions, as well as to verify the carbon sequestration potential of different treatments. The experiment was carried out at 453.6 m² of planted area, divided into 72 plots of 6.3 m². The treatments were two grain sorghum (dwarf sorghum - cv. Surgo and giant sorghum - cv. Sweet Virginia BMR), associated or not with six species of legumes: soybean (*Glycine max* L.), peas (*Pisum sativum* L.), vetch (*Vicia villosa* L.), Alexandria's clover (*Trifolium alexandrinum* L.), Spanish beans (*Phaseolus coccineus* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L. - varieties Merveille de Venise, Neckargold and Alaric), under different forms of establishment of cultures. Data were analyzed using SAS software, through a completely randomized design with four replications each. It was observed that the intercropping did not cause significant differences in the forage productivity, except among the dwarf sorghum-soybean associations in standard density and low density cultivation, compared to the giant sorghum intercropped with Neckargold beans, for high density planting. Maximum levels of carbon sequestration (C) were observed for dwarf sorghum-soybean association, in pattern density (7.35 t C ha⁻¹). Increasing levels of legumes increased protein (CP) and reduced the C/N ratio of the intercropped forages. The associations of legumes with grasses increased lignin levels, being more significant in treatments associated with giant sorghum (bmr). However, the inclusion of legumes and/or the form of crop establishment did not improve the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) within the same type of sorghum. The associations of sorghum with legumes increased protein levels, without, however, improve productivity and IVDMD of forage, regardless of the establishment conditions. Carbon sequestration is positively correlated with dry matter production.

Key words: consortium, morphology, production, carbon sequestration

Introdução

A pesquisa e disseminação crescente de técnicas visando uma produção agrícola sustentável, diante das expectativas de mudanças climáticas, têm impulsionado a adoção da agricultura de baixo carbono no mundo. Assim, a agricultura sustentável é considerada um dos fatores determinantes da evolução agrícola e florestal no século XXI (SEGUIM, 2010).

O setor agroalimentar apresenta alto potencial de contribuição para a proteção do clima, seja por redução direta de emissões de gases do efeito estufa, ou pela produção de energia renovável. Desta forma, o setor agroalimentar deve, necessariamente, adaptar-se às mudanças climáticas para suprir a demanda de alimentos no futuro e atender aos interesses públicos (OFAG, 2011).

Neste sentido, torna-se inevitável adotar estratégias que contribuam para minimizar os impactos ambientais. Dentre elas, destacam-se o uso consciente de irrigação, por meio da utilização de culturas mais adaptadas às condições de estresse hídrico e a redução no uso de energias fósseis, principalmente de fertilizantes nitrogenados.

Na França, bem como em outros países da Europa, os sistemas de produção intensiva de leite são, principalmente, à base de silagem de milho, sendo adotado o sistema de produção irrigada. Nesse contexto, o cultivo do sorgo (*Sorghum spp.*) demonstra ser uma alternativa viável, por apresentar maior adaptação ao estresse hídrico (BORRELL; HAMMER, 2000) e melhor eficiência de utilização da água que o milho, com valores de 80 a 100 mL/planta a menos (DIDIER, 1991). O sorgo também apresenta melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis no solo, devido à estrutura de suas raízes, que são densas e ramificadas e a menor taxa de crescimento da área foliar em relação ao milho (LEGARTO, 2000; HAMMER, 2006).

O sorgo forrageiro, quando comparado ao milho, é apontado como sendo de qualidade inferior, devido ao menor teor de proteína, maior lignificação e presença de ácido cianídrico (HINGRA et al., 1995; TRAXLER et al., 1998). Esses fatores limitantes para a produção animal são contornados, em parte, com o cultivo de sorgo BMR (brown-midrib), que apresentam menores teores de lignina, e conseqüentemente, maior digestibilidade dos constituintes fibrosos (OLIVER et al., 2005).

Nesse contexto, o cultivo de sorgo em mistura com leguminosas pode ser uma alternativa interessante para melhorar a qualidade da forragem produzida, com efeito adicional de melhora da fertilidade do solo. Segundo Akhtar et al. (2013) a prática de consorciação de leguminosas e cereais na agricultura tropical remonta a antiga civilização. Ela objetiva maximizar o uso de recursos como espaço, luz e nutrientes (LI et al., 2003), bem como, melhorar a quantidade e qualidade da produção vegetal (IQBAL et al., 2006). Em geral, os efeitos benéficos deste tipo de consorciação foram observados sob condição de baixa fertilidade, onde o nitrogênio atmosférico fixado pelas leguminosas é utilizado para sua própria nutrição, além de suprir parcialmente as necessidades dos cereais (AKHTAR et al., 2013).

Os resultados dessas misturas são dependentes dos tipos de culturas associadas e da tecnologia de condução da lavoura. Lauriault e Kirksey (2004) observaram menores rendimentos de forragem e maiores níveis de proteína bruta (PB) na mistura, em relação ao monocultivo dos cereais, quando a ervilha (*Pisum sativum* L. subsp. arvense) ou ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth.) foram consorciadas com trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*Triticosecale rimpaui* Wittm.) ou cevada (*Hordeum vulgare* L.). Porém, os

rendimentos de massa de forragem permaneceram superiores ao centeio (*Secale cereale* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e aveia (*Avena sativa* L.), quando em monocultivo ou consorciada com as leguminosas. Rendimentos superiores de matéria seca e maior índice de área foliar foram obtidos na associação cevada-ervilha (CHEN et al., 2004). Efeitos positivos para os teores de PB também foram observados em associações entre duas variedades de sorgo BMR com quatro leguminosas anuais: feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), Lablab (*Lablab purpureus* L.), soja (*Glycine max* L.) e feijão tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) (CONTRERAS-GOVEA et al., 2009).

O conhecimento sobre os benefícios da inclusão de leguminosas em culturas de sorgo, tanto em termos agrônômicos, ambientais e zootécnicos, ainda é escasso, estando frequentemente associados a espécies de feijão. Isso sugere estudos mais ousados, envolvendo outras associações, formas de condução e a inclusão de múltiplos parâmetros ambientais e zootécnicos. Neste contexto, objetivou-se avaliar o potencial produtivo e de sequestro de carbono, bem como o valor nutricional de duas variedades de sorgo associados a diferentes espécies de leguminosas, e submetidos a diferentes condições de manejo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Unité Expérimentale Fourrages et Environnement do INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, Centro de Pesquisas de Poitou-Charentes, localizada em Lusignan (Vienne, França – 15° Leste, 45°26' Norte).

Foram avaliados dois sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* L. Moench), sendo o sorgo anão - cv. Surgo e o sorgo gigante - cv. Sweet Virginia BMR, associados a seis espécies de leguminosas: soja (*Glycine max* L. var. Mitzuko NT); ervilha (*Pisum sativum* L. var. Astronaute); ervilhaca (*Vicia villosa* L. var. Savane); trevo de Alexandria (*Trifolium alexandrinum* L. var. Tabor), feijão espanhol (*Phaseolus coccineus* L. var. Painted Lady) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L. var. Merveille de Venise, Neckargold e Alaric).

Para implantação das associações entre as culturas, fez-se o arranjo de acordo com as características agrônômicas de cada espécie, sendo: sorgo anão associado à soja, feijão (Merveille de venise), ervilha, trevo de Alexandria e ervilhaca; e o sorgo gigante associado com os feijões Neckargold, Alaric e Espagnol. As associações sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão Neckargold foram desdobradas em cinco tratamentos, adotando-se diferentes estratégias para o estabelecimento das culturas, sendo: semeadura das leguminosas em baixa densidade (7,5 sementes/m², em linhas alternadas ao sorgo e com adubação nitrogenada); em densidade padrão (15 sementes/m², desdobrando-se em 3 formas de condução: semeadura em linhas alternadas com aporte de nitrogênio, em linhas alternadas sem aporte de nitrogênio e semeadura na mesma linha com aporte de nitrogênio) e em alta densidade (30 sementes/m², em linhas alternadas, com adubação nitrogenada). As demais associações foram conduzidas com semeadura das leguminosas, em linhas alternadas, em densidade padrão e com adubo nitrogenado. As características agrônômicas das duas cultivares de sorgo foram avaliadas em 18 tratamentos, com quatro repetições cada, totalizando 72 parcelas experimentais. Cada parcela com dimensões de 6 x 1,05 m, num total de 453,6 m² de área cultivada.

Os 18 tratamentos foram denominados de acordo com as associações, sendo:

1. sorgo anão puro = SAP;
2. sorgo gigante puro = SGP;
3. sorgo anão + soja + densidade padrão = SASP;
4. sorgo anão + soja + baixa densidade = SASBD;
5. sorgo anão + soja + alta densidade = SASAD;
6. sorgo anão + soja + densidade padrão com semeio na mesma linha = SASML;
7. sorgo anão + soja + densidade padrão sem aporte de nitrogênio = SASSN;
8. sorgo anão + feijão (M. de venise) + condução padrão = SAFVP;
9. sorgo anão + ervilha + densidade padrão = SAEP;
10. sorgo anão + trevo + densidade padrão = SATP;
11. sorgo anão + ervilhaca + densidade padrão = SAECP;
12. sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão = SGFNP;
13. sorgo gigante + feijão (Neckargold) + baixa densidade = SGFNBD;
14. sorgo gigante + feijão (Neckargold) + alta densidade = SGFNAD;
15. sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão e semeio na mesma linha = SGFNML;
16. sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão sem aporte de nitrogênio = SGFNSN;
17. sorgo gigante + feijão (Alaric) + densidade padrão = SGFAP;
18. sorgo gigante + feijão (Espanhol) + densidade padrão = SGFEP.

Os híbridos de sorgo e as leguminosas utilizadas foram escolhidos de acordo com suas características de adaptação ao estresse hídrico e potencial de produção de forragem de qualidade. As exigências em nitrogênio foram determinadas por meio do método dos balanços PcAZOTE[®], considerando os seguintes parâmetros: cultura precedente, histórico da área, nitrogênio remanescente e o rendimento esperado.

A área de implantação teve como histórico de cultivo, nos três anos precedentes: milho (2010), fava (2011) e triticale (2012), bem como, cultivo de culturas de inverno consorciadas - cereais e leguminosas de inverno (2012-2013). O solo utilizado é do tipo silte argiloso, com coloração marrom, apresentando boas características de fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Análise do solo da área experimental

Densidade	pH	CTC	MO*	CaCO ₃	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
t/m ³	H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹
1,60	7,1	8,0	21,8	3	1,93	0,131	0,272	0,177	0,01

MO (matéria orgânica) = carbono orgânico x 1,72.

As culturas de sorgo e de sorgo consorciado com leguminosas foram implantadas no dia 04 de junho de 2013, período que foram expostas a déficit hídrico e temperaturas elevadas (Figura 1). Utilizou-se, para o sorgo, a regulagem da semeadora para obter a densidade de 20 sementes/m², distando 44 cm entre

linhas, com semeadura das leguminosas nas entre linhas, exceto para os tratamentos conduzidos com semeadura na mesma linha, onde as linhas distaram 22 cm.

Após dois dias, fez-se a fertilização nitrogenada com “solufix” 36-10 (nitrogênio-enzofre), na forma líquida, de forma a se obter 61 kg de N ha⁻¹, para melhor crescimento do sorgo na fase inicial. Esse processo não ocorreu para os tratamentos sem aporte de nitrogênio mineral.

Como proteção fitossanitária, aos 28 dias, quando as culturas de sorgo apresentavam três folhas e as leguminosas duas, fez-se a aplicação de Basagran SG[®] na dose de 1,4 kg ha⁻¹. Aos 48 dias, todas as parcelas foram capinadas manualmente, para retirada de plantas invasoras. Antes da capina, estimou-se a quantidade de plantas invasoras/m² em cada tratamento, atribuindo um índice classificatório de 1 a 7, adaptado do protocolo Rés0Pest (Cellier et al., 2014), em que: 1= 0-1 pl/m²; 2 = 1-3 pl/m²; 3 = 3-20 pl/m²; 4 = 20-50 pl/m²; 5 = 50-100 pl/m²; 6 = 100-500 pl/m² e 7 = >500 pl/m². Também foi atribuída uma nota visual (1 a 9), visando abranger toda a dimensão de cada parcela, quanto à cobertura do solo pelas invasoras.

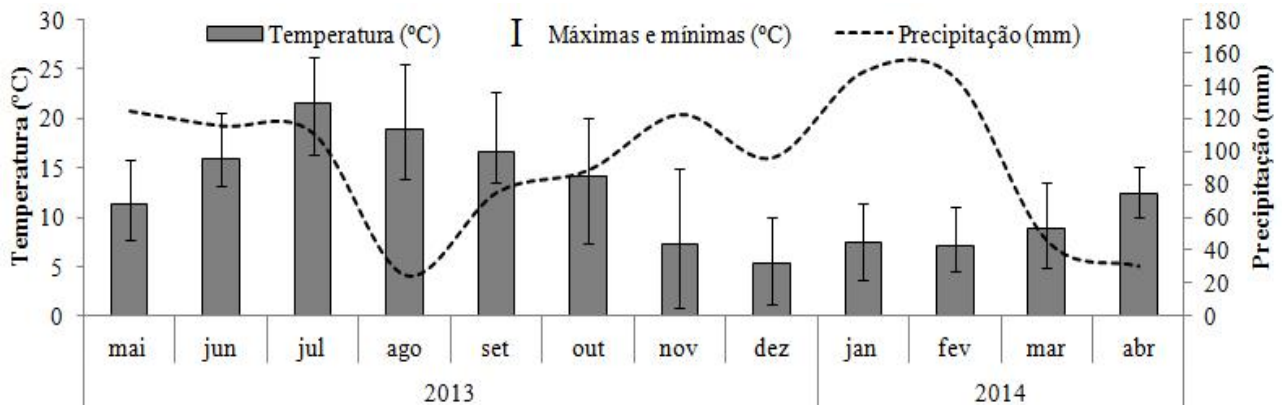


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias, máximas e mínimas durante o período experimental - Dados obtidos da plataforma INRA Climatik.

Durante a fase de campo, foram avaliados parâmetros agrônômicos e ambientais, por meio de mensurações de crescimento, produção e qualidade da massa de forragem das culturas de sorgo e de leguminosas. Aos 51 dias, foi mensurada a população de plantas, em cada parcela, contabilizando a quantidade de gramínea e de leguminosa em 2 metros lineares, distando 0,5 m das bordaduras, nas linhas 2 e 3 (extremidade noroeste da parcela) e nas linhas 4 e 5 (extremidade sudeste da parcela), respectivamente.

Quando o sorgo atingiu o ponto de ensilagem (4 e 5 meses para o sorgo anão e gigante, respectivamente), imediatamente antes do corte, foram avaliados os componentes: altura de planta, diâmetro do colmo (com uso de paquímetro digital) e peso da planta, bem como as frações morfológicas constituintes do sorgo e das leguminosas. Para isso, coletaram-se quatro plantas de cada espécie por parcelas, cortadas a 15 cm de altura do solo, as quais foram separadas e pesadas em: planta inteira, colmo, folhas + bainha e panícula. As leguminosas foram avaliadas em: planta inteira, caule, folhas + pecíolo, número de vagens (inflorescência para o trevo) e peso médio de grãos/vagem (exceto trevo). A partir destas informações, estimou-se a produção de matéria seca para cada espécie cultivada e a produtividade de grãos.

Utilizando-se do protocolo Rés0Pest (Cellier et al., 2014), com adaptação na metodologia para superfícies experimentais menores, pela contagem total das plantas em substituição às estimativas visuais do

número de plantas, verificou-se o número de sorgos quebrados e tombados, atribuindo um índice de 0 (ereto) a 5 (totalmente caído) para cada planta, de forma a se obter, com base na população de plantas, o índice geral por parcela.

A produção de matéria seca da forragem/ha foi obtida por cortes, a altura de 15 cm do solo, em 2 m lineares nas linhas 3 e 4 de cada parcela, recuperando o material presente entre linhas, representando uma área de 0,6 m²/parcela. O material abaixo da altura de 15 cm foi recolhido separadamente, com corte ao nível de solo, para se obter a produção de matéria seca residual depositada no solo.

Para a avaliação da qualidade das forragens, as amostras coletadas foram processadas e encaminhadas ao laboratório de análises para determinação da composição químico-bromatológica.

As amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 h, e após, moídas a 1 mm, em moinho de martelo, para determinação dos teores de matéria seca (MS) e matéria mineral (MM), segundo a AOAC (1997). Uma subamostra foi processada em moinho de bola, para obtenção da granulometria de 0,5 mm e analisadas para carbono orgânico total (COT) e nitrogênio pelo método de combustão a seco, com uso de cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa, seguindo o princípio de Dumas (1831).

A estimativa do potencial de sequestro de carbono por hectare (carbono orgânico acumulado), da parte aérea da forragem, foi obtida, segundo a equação:

$$CS = (COT \times PMS)/100$$

em que: CS = carbono sequestrado em determinada estrutura da planta (t ha⁻¹); COT = teor de carbono orgânico (%) e PMS = produção de matéria seca (t ha⁻¹).

A determinação da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e lignina foram obtidos de acordo com Van Soest et al. (1991). Os valores de PB, proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) foram calculadas pela multiplicação dos valores de nitrogênio, NIDA e NIDN por 6,25. As concentrações de carbono orgânico insolúvel em detergente neutro (COIDN) e carbono orgânico insolúvel em detergente ácido (COIDA) foram obtidas pela análise de carbono orgânico nos resíduos da FDN e da FDA, respectivamente. A determinação do conteúdo de amido e carboidratos solúveis foi realizada com uso do aparelho o NIRS (NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD 20904, USA).

A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi obtida pelo método enzimático, descrito por Aufrère (1982), com uso do equipamento Daisy II (ANKOM technology).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão (PB e sequestro de carbono) por meio do programa estatístico SAS (2013), e as diferenças entre as médias comparadas pelo teste Tukey (P<0,05), em um delineamento inteiramente casualizado com 18 tratamentos e quatro repetições.

Resultados e Discussão

As diferentes associações e condução agrônômica das culturas não influenciaram na germinação e estabelecimento dos sorgos, observando-se valores médios 153,9 mil plantas ha⁻¹, não ocasionando

diferenças significativas na produção de MS do sorgo (Tabela 2). No entanto, o tratamento SGFNAD apresentou menor produção de MS ha⁻¹ (P<0,05) em relação aos tratamentos SGP, SASP, SASBD e SATP, evidenciando o efeito da competitividade do feijão Neckargold sobre o desempenho produtivo do sorgo.

A produção de MS do sorgo apresentou forte correlação negativa com a percentagem de plantas quebradas (r = -0,43; P<0,0001), indicando que a redução observada, na produção de MS do sorgo, ocorreu pelo hábito de crescimento do feijão Neckargold. Nos tratamentos a ele associado houve maior número de plantas de sorgo quebradas (P<0,05), com exceção para a baixa densidade de plantio (SGFNBD). Altas percentagens de sorgo quebrado também foram observadas para o tratamento SGFEP, intercalado pelas demais associações sorgo gigante-feijão.

O padrão de semeadura desempenha papel fundamental na determinação do rendimento de culturas forrageiras por hectare, que frequentemente varia com os diferentes arranjos geométricos e sistemas de consórcio em função da competição interespecífica. Segundo Akhtar et al. (2013), áreas em monocultivo do sorgo, semeados a 30 cm entre linhas, tendem a apresentar maiores populações de plantas, em relação às áreas de sorgo associado ao feijão caupi e ao guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). Comportamento semelhante, relativo à produção de MS, foi relatado por Arshad (2012), em culturas de sorgo sacarino consorciado com soja ou feijão verde.

Quando em condução padrão (SGFNP), a inclusão do feijão Neckargold afetou (P<0,05) o crescimento do sorgo gigante, reduzindo a altura em média de 32 cm em relação ao cultivo singular (SGP). Esta diferença foi aumentada para 38 cm, quando em altas densidades de cultivo da leguminosa (SGFNAD). Padrões semelhantes aos constatados neste estudo foram verificados por Ayub e Shoaib (2009), em culturas de sorgo puro ou consorciado a uma leguminosa (guar) em diferentes formas de estabelecimento. Estes autores observaram maiores alturas no sorgo puro (2,04 m), semeado a 30 cm de distância entre linhas, em relação às suas associações com a leguminosa, semeada entre linhas (1,93 m) ou na mesma linha que o sorgo (1,74 m). O maior crescimento das plantas em condições de monocultivo pode estar relacionado à melhor incidência de luz e maior área nutricional disponível. Já no cultivo consorciado existe a competição interespecífica pelos nutrientes, água e luz, que pode alterar a dinâmica das propriedades físico-químicas das culturas (JAVANMARD et al., 2009).

As demais associações e formas de estabelecimento não influenciaram (P>0,05) o desenvolvimento dos sorgos, tanto para a cultivar anão como para a gigante, observando-se maior produção de forragem para o sorgo gigante.

O sorgo gigante, em todos os tratamentos (Tabela 2), apresentou maiores proporções de colmo em relação ao sorgo anão (P<0,05). A associação com leguminosas determinou a redução no percentual da fração colmo do sorgo anão, diferindo (P<0,05) entre o SAP e os demais tratamentos, exceto para o SASML, o qual diferiu entre os tratamentos com ervilha (SAEP) e trevo (SATP) em densidade de semeadura padrão. O mesmo comportamento foi observado para o sorgo gigante, com redução na fração colmo, obtendo-se diferença (P<0,05) entre os tratamentos SGFNP, SGFNAD e SGFNML em relação ao SGP e SGFNBD, porém não diferindo das associações com outras cultivares de feijão (SGFAP e SGFEP).

Tabela 2. Características morfológicas e produtivas de duas cultivares de sorgo em diferentes associações com leguminosas e formas de estabelecimento

Tratamento	Sorgo (Mil Pl. ha ⁻¹)	Altura (m)	Colmo (g kg ⁻¹ MN)	Ø colmo (mm)	Folhas (g kg ⁻¹ MN)	Grão/panícula (g kg ⁻¹ MN)	Plantas quebradas (%)	Plantas acamadas (%)	Produção (t MS ha ⁻¹)
SAP	196,0	1,65 ^{def}	516 ^{ef}	14,1 ^{bcd}	289 ^{ab}	195 ^{bc}	0,0 ^e	0,0 ^b	13,12 ^{ab}
SGP	210,2	2,04 ^a	655 ^a	11,2 ^{de}	195 ^{cd}	149 ^{cde}	0,2 ^{de}	2,2 ^{ab}	13,58 ^a
SASP	170,5	1,58 ^{ef}	443 ^{gh}	16,3 ^{abc}	297 ^{ab}	259 ^a	0,0 ^e	0,0 ^b	14,49 ^a
SASBD	144,9	1,71 ^{cdef}	458 ^{gh}	15,3 ^{abcde}	309 ^{ab}	233 ^{ab}	0,0 ^e	0,0 ^b	14,19 ^a
SASAD	159,1	1,53 ^f	450 ^{gh}	15,6 ^{abcde}	327 ^a	222 ^{ab}	0,0 ^e	0,0 ^b	10,52 ^{ab}
SASML	136,4	1,61 ^{cdef}	482 ^{fg}	14,6 ^{abcde}	325 ^a	193 ^{bcd}	0,1 ^e	0,0 ^b	11,05 ^{ab}
SASSN	136,4	1,57 ^f	466 ^{gh}	16,7 ^{abc}	298 ^{ab}	236 ^{ab}	0,2 ^{de}	0,2 ^b	10,60 ^{ab}
SAFVP	167,6	1,56 ^f	453 ^{gh}	14,5 ^{bcde}	312 ^a	235 ^{ab}	0,0 ^e	0,1 ^b	10,11 ^{ab}
SAEP	113,6	1,56 ^f	426 ^h	19,3 ^a	303 ^{ab}	270 ^a	0,0 ^e	0,0 ^b	11,90 ^{ab}
SATP	150,6	1,57 ^f	429 ^h	18,0 ^{ab}	304 ^{ab}	267 ^a	0,0 ^e	0,0 ^b	14,28 ^a
SAECP	150,6	1,60 ^{def}	441 ^{gh}	16,0 ^{abcd}	333 ^a	225 ^{ab}	0,0 ^e	0,0 ^b	11,95 ^{ab}
SGFNP	150,6	1,72 ^{bcdef}	565 ^{de}	11,0 ^e	314 ^a	120 ^e	2,7 ^{bc}	4,2 ^{ab}	8,73 ^{ab}
SGFNBD	139,2	2,00 ^{ab}	628 ^{ab}	15,0 ^{abcde}	183 ^d	189 ^{bcd}	1,6 ^{cde}	3,2 ^{ab}	11,30 ^{ab}
SGFNAD	144,9	1,66 ^{cdef}	566 ^d	14,2 ^{bcde}	316 ^a	117 ^e	6,9 ^a	2,9 ^{ab}	5,68 ^b
SGFNML	136,4	1,86 ^{abcde}	577 ^{cd}	15,0 ^{abcde}	308 ^{ab}	114 ^e	5,3 ^{ab}	1,9 ^{ab}	8,84 ^{ab}
SGFNSN	136,4	1,88 ^{abc}	618 ^{abc}	12,0 ^{cde}	260 ^{abc}	121 ^e	4,7 ^{ab}	12,4 ^a	8,24 ^{ab}
SGFAP	142,0	2,03 ^a	597 ^{bcd}	14,0 ^{bcde}	268 ^{abc}	135 ^{de}	1,0 ^{cde}	12,5 ^a	7,18 ^{ab}
SGFEP	184,7	1,88 ^{abcd}	607 ^{abcd}	13,2 ^{bcde}	237 ^{bcd}	156 ^{cde}	3,2 ^{bc}	8,4 ^{ab}	8,47 ^{ab}
MÉDIA	153,9	1,72	521	14,8	288	191	1,4	2,7	10,79
*EPM	8,36	0,02	6,80	0,03	4,76	5,18	0,21	0,58	0,58

SAP - sorgo anão puro; SGP - sorgo gigante puro; SASP - sorgo anão + soja + densidade padrão; SASBD - sorgo anão + soja + baixa densidade; SASAD - sorgo anão + soja + alta densidade; SASML - sorgo anão + soja + densidade padrão na mesma linha; SASSN - sorgo anão + soja + densidade padrão sem nitrogênio; SAFVP - sorgo anão + feijão (M. de venise) + densidade padrão; SAEP - sorgo anão + ervilha + densidade padrão; SATP - sorgo anão + trevo + densidade padrão; SAECP - sorgo anão + ervilhaca + densidade padrão; SGFNP - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão; SGFNBD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + baixa densidade; SGFNAD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + alta densidade; SGFNML - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão na mesma linha; SGFNSN - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão sem nitrogênio; SGFAP - sorgo gigante + feijão (Alaric) + densidade padrão e SGFEP - sorgo gigante + feijão (Espanhol) + densidade padrão.

Médias na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). *EPM = erro-padrão da média.

Valores intermediários da proporção de colmo foram encontrados para o SGFNSN, mantendo-se superiores ao mesmo tipo de associação, quando na mudança da forma de estabelecimento (SGFNP e SGFNAD). Este comportamento pode ter ocorrido, em parte, pela menor disponibilidade de nitrogênio para a cultura SGFNSN, já que plantas que recebem maior aporte de nitrogênio tendem a apresentar elevada produção de folhas, reduzindo, em termos proporcionais, a fração colmo. No entanto, a proporção de colmo é dependente de diversos fatores, dentre os quais, a cultivar e o desempenho produtivo exercem grande importância. Oliveira et al. (2005) relataram proporções de colmo, em quatro cultivares de sorgo recebendo níveis crescente de nitrogênio, superiores as obtidas neste experimento, com valor médio de 726 g kg^{-1} de matéria natural (g kg^{-1} MN).

Segundo Corrêa et al. (1996), a altura da planta, em geral, está correlacionada positivamente com a produção de matéria natural e matéria seca, bem como, com a percentagem de colmo e de acamamento, que são características pouco desejáveis para a produção eficiente de forragem. Tais correlações também foram verificadas no presente estudo, para percentagem de colmo ($r = 0,69$; $P < 0,0001$) e acamamento do sorgo ($r = 0,35$; $P < 0,0001$), exceto entre altura do sorgo e produção de MS, que demonstrou correlação negativa, porém não significativa ($r = -0,05$; $P > 0,05$).

Quando em cultivo singular o diâmetro de colmo do sorgo, não diferiu ($P > 0,05$) entre SAP e SGP, com 14,1 e 11,2 mm, respectivamente. Quando analisados em relação às diferentes associações e formas de estabelecimento para cada tipo de sorgo, notou-se, para o sorgo anão, maior diâmetro de colmo no tratamento SAEP, em relação ao SAP e SAFVP. Não houve variação ($P > 0,05$) do diâmetro de colmo do sorgo, nos tratamentos com sorgo gigante. Diâmetros de colmo inferiores foram relatados por Ayub e Shoaib (2009) em sorgo puro (9,3 mm), sorgo-guar semeado entre linhas (8,2 mm) e sorgo-guar na mesma linha (7,8 mm), demonstrando variação em função do consórcio e manejo agrícola.

Quando em monocultivo, o sorgo anão apresentou maiores proporções ($P < 0,05$) de folhas que o sorgo gigante, com valores médios de 289 e 195 g kg^{-1} MN, respectivamente, não sendo alterada em função da inclusão de leguminosas nas diferentes formas de estabelecimento. Observou-se, no entanto, que a associação com leguminosas favoreceu o aumento da fração folha para o sorgo gigante, o qual alcançou quantidades semelhantes ao sorgo anão, exceto na baixa densidade (SGFNBD), onde foram constatados os menores valores.

De acordo com Moraes et al. (2013), a redução na produção de folhas está relacionado às elevadas proporções de colmo, frequentemente observadas em híbridos de sorgo de porte alto, o que pode comprometer a qualidade da forragem. No entanto, pode-se obter redução no percentual de colmo do sorgo por meio do incremento de nitrogênio, pelo aumento na produção de panícula (MACEDO et al., 2012).

As produções de panícula dos sorgos (SAP e SGP), em cultivo singular, não diferiram ($P < 0,05$) entre si. A adição de leguminosa não ocasionou diferença na produção de panícula para o sorgo gigante, porém, efeito positivo foi observado no sorgo anão, com maiores valores ($P < 0,05$) nos tratamentos SASP, SAEP e SATP (259; 270 e 267 g kg^{-1} MN, respectivamente). Estes resultados são superiores à média encontrada por Oliveira et al. (2005) e Rezende et al. (2011), em quatro híbridos de sorgo, os quais verificaram valores de 86 e 162 g kg^{-1} MN, respectivamente. Padrão divergente foi relatado por Rashid et al.

(2004) quando do cultivo de sorgo associado a duas leguminosas (guar e feijão verde), observando-se redução na produção de panícula e de grãos na ordem 1,46 e 2,35%, para o consórcio com feijão e guar, respectivamente.

A percentagem de sorgo gigante acamado, em monocultivo (SGP), não diferiu ($P>0,05$) dos demais tratamentos. Verificando-se, no entanto, que quando associado ao feijão Neckargold, sem nitrogênio (SGFNSN), ou ao feijão Alaric (SGFAP), o sorgo gigante apresentou maior acamamento ($P<0,05$) em relação aos tratamentos com o sorgo anão. Observou-se que o índice de inclinação (grau de acamamento) do sorgo anão, não foi influenciado pelas espécies de leguminosas e/ou manejo agrícola, não diferindo ($P>0,05$) dos índices encontrados para o SGP. Nos tratamentos com sorgo gigante, constatou-se que o SGFAP apresentou maior índice de inclinação das plantas, com valores de 0,59 e 8,44 para o SGP e consorciado com feijão Alaric (SGFAP), respectivamente. O tratamento SGFAP não diferiu, quanto ao índice de inclinação, dos tratamentos SGFNP, SGFNBD, SGFNSN e SGFEP, porém, diferiu ($P<0,05$) em relação aos demais. Tais resultados podem ser explicados, parcialmente, pelo maior porte das leguminosas, visto que foi observada correlação positiva entre percentagem de acamamento e índice de acamamento em função da altura das leguminosas ($r = 0,18$; $P<0,05$).

As produções de MS dos sorgos apresentaram correlação negativa com o quebramento ($r = -0,43$; $P<0,0001$) e acamamento ($r = -0,23$; $P<0,005$), porém, observou-se que a inclusão de leguminosa, não melhorou o desempenho produtivo dos sorgos.

Para as características morfológicas e produtivas das leguminosas, nas diferentes associações (Tabela 3), observou-se que, na mesma cultivar de sorgo, a população de leguminosas diferiu ($P>0,05$) apenas entre os tratamentos com baixa e alta densidade. No entanto, os cultivos de baixa densidade apresentaram populações semelhantes aos que receberam taxa de semeadura padrão.

Dentro das associações onde se avaliou o efeito da forma de estabelecimento, não foram verificadas diferenças ($P>0,05$) referentes à variável altura da leguminosa, com maiores valores absolutos nas leguminosas trepadeiras (feijões e ervilhaca). Para as leguminosas cultivadas com o sorgo gigante, observou-se que o feijão Nechargold, com manejo padrão (SGFNP) ou alta densidade (SGFNAD), demonstrou menor desenvolvimento ($P<0,05$) que o feijão Alaric (SGFAP), não diferindo da altura das outras leguminosas. Entre os consórcios com o sorgo anão, constatou-se maior crescimento da ervilhaca (SAECP) e menor para a ervilha (SAEP), sendo que esta última não diferiu em relação às demais.

Como reflexo da variável altura, por apresentar correlação positiva com a quantidade de caule ($r = 0,37$; $P<0,0001$), também não foram constatadas diferenças em relação ao método de estabelecimento das leguminosas. Nas associações com sorgo gigante, apenas os tratamentos SGFNP e SGFAP apresentaram diferença ($P<0,05$) na proporção de caule. Nas associações com sorgo anão, observaram-se os maiores valores da fração caule para os tratamentos SAEP, SATP e SAECP. Isso pode ser atribuído à baixa presença de vagem/inflorescência na ervilha, trevo e ervilhaca, no momento da colheita.

As formas de estabelecimento das culturas também não ocasionaram diferenças ($P>0,05$) para diâmetro do caule, nos tratamentos com sorgo gigante. Já nos tratamentos com o sorgo anão, a soja semeada na mesma linha do sorgo (SASML) apresentou caules mais finos que a soja em baixa densidade (SASBD),

com valores de 6,0 e 8,4 mm, respectivamente. Possivelmente, isso ocorreu pela maior competição interespecífica pela radiação solar e melhor captação de dióxido de carbono (CO₂), visto que, em condições de alta densidade, as plantas tendem ao maior alongamento do caule e redução do seu diâmetro (MARTINS et al., 1999). Características semelhantes, na cultura da soja, foram relatadas por Solano e Yamashita (2011), com diâmetros de caule superiores nas sojas semeadas com menor número de sementes por metro linear, obtendo valores de 6,6 e 5,9 mm para as densidades de 7,5 e 20 sementes/metro linear, respectivamente.

Os menores diâmetros de caule foram observados no trevo e na ervilhaca (2,4 mm), não diferindo da ervilha (2,7 mm) e do feijão M. de venise (3,7 mm). Comportamento semelhante foi observado quanto à proporção de folhas e pecíolo, onde o trevo e a ervilhaca, juntamente com o feijão espanhol (SGFEP), apresentaram resultados superiores.

Quando analisada a proporção de folhas em relação aos efeitos da forma de estabelecimento, não foram constatadas diferenças ($P > 0,05$) para a soja e para o feijão Neckargold dentro das respectivas cultivares de sorgo. Comparadas as produções de folhas entre a soja e as variedades de feijão, em condução padrão, verificou-se a superioridade ($P < 0,05$) da soja (SASP) face às cultivares de feijão M. de venise (SAFVP) e Neckargold (SGFNP), e equiparação em relação ao feijão Alaric (SGFAP). No entanto, o feijão espanhol (SGFEP) superou a quantidade de folhas da soja, o que se explica pelo ciclo de produção tardio desta leguminosa. Santos et al. (2003) observaram que não houve diferença significativa na produção de folhas entre feijão da espécie (*Phaseolus vulgaris*) e a soja, quando avaliados na fase vegetativa, contudo, após o florescimento, o feijão foi a planta com maior formação de folhas, representando 300 g kg⁻¹ MS da produção total de MS da planta.

Igualmente, as proporções de folhas, os tipos de condução não alteraram a proporção e o número de vagens/planta de soja e de feijão Neckargold em suas associações ao sorgo. Dentre as leguminosas consorciadas com sorgo anão, a soja foi a que mais produziu vagens ($P < 0,05$), tanto em proporção de vagens kg⁻¹ MN como em números de vagem/planta, assim como o feijão M. de venise, sendo que este diferiu da soja em números de vagens. Para os consórcios com o sorgo gigante, observou-se diferença na proporção de vagens apenas entre SGFNSN e SGFEP, não diferindo em relação aos demais. Entre todos os tratamentos, as culturas com feijão, ervilha e trevo apresentaram os menores ($P < 0,05$) números de vagens (inflorescência no trevo) que a soja. Porém, este comportamento não refletiu diretamente sobre as proporções de vagens na planta pela maior produção de MS/vagem no feijão, verificando-se os menores valores para o trevo e ervilhaca, os quais não diferiram da ervilha e do feijão espanhol.

Solano e Yamashita (2011) relataram número médio de vagens/planta, em monocultivo de soja, superiores à média observada neste estudo (31 VS 24 vagens/planta). Da mesma forma, para o feijão em monocultivo, com valores médio de 8 VS 4 vagens/planta (SORATTO et al., 2010), o que evidencia o efeito da competitividade interespecífica das culturas na produção de vagens, quando do cultivo consorciado.

Tabela 3. Características morfológicas e produtivas de leguminosas submetidas a diferentes formas de estabelecimento e associações com sorgo

Tratamento	Leguminosa (Mil Pl./ha)	Altura (m)	Caule (g kg ⁻¹ MN)	Folha+ pecíolo (g kg ⁻¹ MN)	#Vagem (g kg ⁻¹ MN)	#Nº vagem/planta	Grãos (kg MN ha ⁻¹)	Produção de MS (kg MS ha ⁻¹)	Matéria seca no solo (kg MS ha ⁻¹)	Nota visual global	Produção total (t MS ha ⁻¹)
SAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,5 ^a	13,12 ^{ab}
SGP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8 ^{abc}	13,58 ^{ab}
SASP	133,5 ^{abcd}	1,10 ^{bcde}	368 ^{ef}	122 ^b	510 ^{ab}	24 ^{ab}	4.366 ^b	2.165 ^{bcd}	240 ^{cd}	6,8 ^{abc}	16,65 ^a
SASBD	79,5 ^{cde}	1,00 ^{cdef}	372 ^{def}	116 ^{bc}	511 ^{ab}	29 ^a	3.306 ^b	1.789 ^{cde}	229 ^{cd}	7,5 ^a	15,98 ^a
SASAD	179,0 ^{ab}	0,94 ^{def}	365 ^{ef}	97 ^{bcd}	537 ^{ab}	23 ^{ab}	5.212 ^{ab}	3.025 ^{abc}	355 ^{cd}	7,3 ^{ab}	13,54 ^{ab}
SASML	90,9 ^{bcde}	0,95 ^{def}	362 ^{ef}	111 ^{bc}	527 ^{ab}	19 ^{ab}	2.095 ^b	2.036 ^{bcd}	256 ^{cd}	7,0 ^{ab}	13,08 ^{ab}
SASSN	108,0 ^{abcd}	0,96 ^{def}	332 ^f	93 ^{bcde}	575 ^a	26 ^{ab}	9.936 ^a	1.832 ^{bcd}	237 ^{cd}	6,8 ^{abc}	12,43 ^{ab}
SAFVP	108,0 ^{abcd}	1,31 ^{abcde}	355 ^{ef}	32 ^{cdef}	613 ^a	7 ^{cd}	1.582 ^b	792 ^{defg}	1.063 ^a	5,0 ^{bcd}	10,90 ^{ab}
SAEP	116,5 ^{abcd}	0,39 ^f	679 ^a	112 ^{bc}	209 ^{de}	1 ^d	38 ^b	76 ^g	236 ^{cd}	6,5 ^{abc}	11,98 ^{ab}
SATP	167,6 ^{abc}	0,78 ^{ef}	641 ^{ab}	270 ^a	89 ^e	3 ^d	-	214 ^{fg}	419 ^{bcd}	7,0 ^{ab}	14,50 ^{ab}
SAECP	93,8 ^{bcde}	1,79 ^a	629 ^{ab}	209 ^a	162 ^e	17 ^{bc}	367 ^b	305 ^{efg}	206 ^d	6,8 ^{abc}	12,25 ^{ab}
SGFNP	116,5 ^{abcd}	1,05 ^{bcde}	606 ^{ab}	24 ^{def}	370 ^{bcd}	3 ^d	938 ^b	2.031 ^{bcd}	401 ^{bcd}	6,5 ^{abc}	10,76 ^{ab}
SGFNBD	45,5 ^{de}	1,44 ^{abcd}	539 ^{abcd}	11 ^{ef}	450 ^{abc}	7 ^d	455 ^b	1.013 ^{defg}	328 ^{bcd}	6,5 ^{abc}	12,31 ^{ab}
SGFNAD	193,2 ^a	1,12 ^{bcde}	548 ^{abc}	73 ^{bcdef}	379 ^{bcd}	2 ^d	485 ^b	1.623 ^{cdef}	659 ^{abc}	4,0 ^d	7,31 ^b
SGFNML	130,7 ^{abcd}	1,63 ^{ab}	516 ^{abcde}	35 ^{cdef}	449 ^{abc}	4 ^d	1.598 ^b	1.586 ^{cdef}	727 ^{ab}	5,3 ^{abcd}	10,42 ^{ab}
SGFNSN	71,0 ^{cde}	1,43 ^{abcd}	487 ^{bcdef}	34 ^{cdef}	479 ^{ab}	5 ^d	1.461 ^b	1.863 ^{bcd}	513 ^{bcd}	5,0 ^{bcd}	10,11 ^{ab}
SGFAP	116,5 ^{abcd}	1,79 ^a	435 ^{cdef}	109 ^{bcd}	456 ^{abc}	7 ^d	3.244 ^b	3.336 ^{ab}	523 ^{bcd}	4,5 ^{cd}	10,52 ^{ab}
SGFEP	127,8 ^{abcd}	1,59 ^{abc}	513 ^{abcde}	220 ^a	267 ^{cde}	2 ^d	2.157 ^b	3.751 ^a	540 ^{bcd}	3,8 ^d	12,22 ^{ab}
MÉDIA	104,3	1,07	430	93	366	10	2.074	1.524	385,21	6,13	12,31
*EPM	8,92	0,05	17,25	7,35	18,10	3,72	463,41	168,00	42,22	0,13	0,55

SAP - sorgo anão puro; SGP - sorgo gigante puro; SASP - sorgo anão + soja + densidade padrão; SASBD - sorgo anão + soja + baixa densidade; SASAD - sorgo anão + soja + alta densidade; SASML - sorgo anão + soja + densidade padrão na mesma linha; SASSN - sorgo anão + soja + densidade padrão sem nitrogênio; SAFVP - sorgo anão + feijão (M. de venise) + densidade padrão; SAEP - sorgo anão + ervilha + densidade padrão; SATP - sorgo anão + trevo + densidade padrão; SAECP - sorgo anão + ervilhaca + densidade padrão; SGFNP - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão; SGFNBD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + baixa densidade; SGFNAD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + alta densidade; SGFNML - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão na mesma linha; SGFNSN - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão sem nitrogênio; SGFAP - sorgo gigante + feijão (Alaric) + densidade padrão e SGFEP - sorgo gigante + feijão (espanhol) + densidade padrão.

Médias na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). *EPM = erro padrão da média. #Inflorescência para o trevo.

Para todas as leguminosas, a produção de grãos demonstrou correlação positiva com o número de vagens por planta ($r = 0,44$; $P < 0,0001$). No entanto, apesar do menor número de vagens para as espécies de feijão, ervilha e ervilhaca, suas produções diferiram ($P < 0,05$) apenas em relação ao tratamento SASSN, o qual demonstrou o maior potencial para a produção de grãos ($9.936 \text{ kg MN ha}^{-1}$). Cabe ressaltar que, pelo alto desvio-padrão verificado para a variável produção de grãos, entre todos os tratamentos, o coeficiente de variação foi muito alto ($182,87\%$), ocasionando possíveis perdas de significância entre os demais tratamentos.

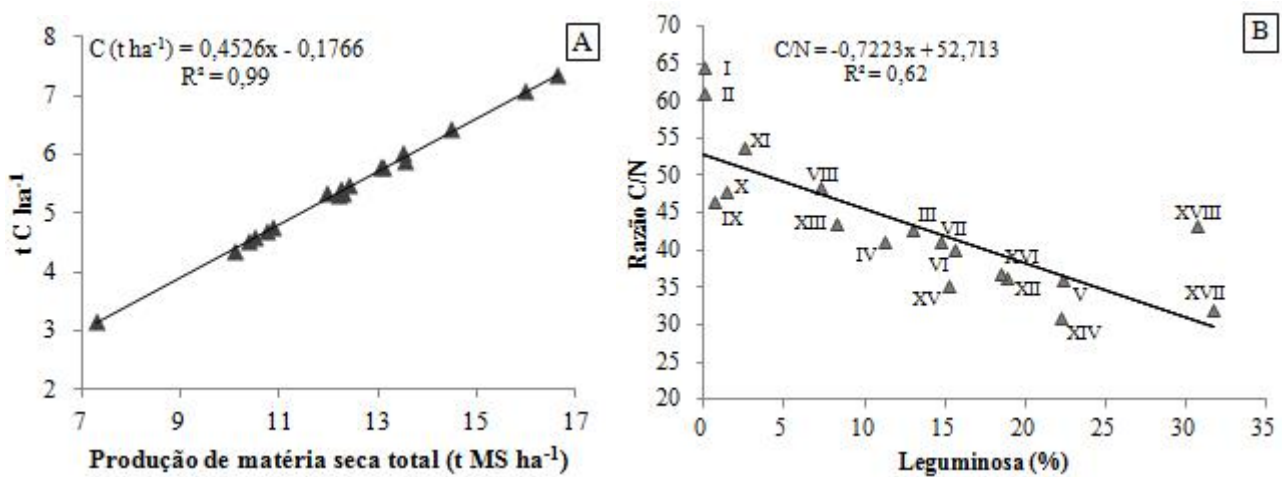
Não foi observado efeito significativo da forma de estabelecimento sobre o rendimento das leguminosas. Dentre todas as leguminosas, o feijão espanhol (SGFEP) produziu a maior quantidade de MS por hectare ($3.751 \text{ kg MS ha}^{-1}$), não diferindo dos tratamentos SGFAP e SASAD. Já o menor rendimento de MS foi verificado para a ervilha (76 kg MS ha^{-1}), não diferindo em relação ao trevo, à ervilhaca e aos feijões M. de venise e Neckargold cultivados em baixa densidade. Entretanto, em relação ao potencial de fertilização, estimado por meio da MS residual, a ervilha apresentou resultados inferiores apenas em relação aos tratamentos SAFVP e SGFNML.

Como resultado da produção total de MS para a mistura sorgo-leguminosa, observou-se diferença ($P < 0,05$) apenas para o tratamento SGFNAD ($7,31 \text{ t MS ha}^{-1}$) em relação às associações SASP e SASBD ($16,65$ e $15,98 \text{ t MS ha}^{-1}$, respectivamente). Esta característica demonstra o melhor potencial produtivo do sorgo anão associado à soja, visto que a produção do SASP foi, em média, $28,67\%$ superior às demais associações com estabelecimento padrão e $21,20\%$ em relação ao monocultivo do sorgo anão. Valores similares foram observados por Tiritan et al. (2013), reportando aumento de $23,28\%$ na MS total, quando do consórcio do sorgo com uma leguminosa, aos 90 dias de implantação da cultura, porém, quando relacionado a MS produzida pelo sorgo em monocultivo com a percentagem dele na MS total da mistura, verificou-se redução de $8,95\%$. Do mesmo modo, Ayub e Shoib (2009) verificaram maiores produções de MS total quando do consórcio entre sorgo e leguminosa, em relação ao sorgo puro ($25,78$ VS $18,21 \text{ t MS ha}^{-1}$). Este comportamento também foi observado por Ahmad et al. (2007) para o sorgo associado a quatro espécies de leguminosas (feijão verde, guar, ervilha e sesbania).

Observou-se comportamento linear positivo entre a produção de MS total e a capacidade de sequestro de carbono pelas plantas (Figura 2A), o que foi mais expressivo na forragem com maiores níveis de sorgo, pela sua melhor eficiência na utilização do CO_2 em relação às leguminosas, visto as diferenças no metabolismo fotossintético entre plantas C_4 e C_3 . Verificou-se, no entanto, que o consórcio entre sorgo anão+soja, em densidade padrão (13% de soja) ou baixa densidade (11% de soja) ocasionou aumento no sequestro de carbono, em relação ao monocultivo do sorgo de 22 e 27% , respectivamente, o que representa acréscimos de $1,27 \text{ t C ha}^{-1}$ para o SASBD e de $1,56 \text{ t C ha}^{-1}$ para o SASP. Isso se explica pela maior produtividade da MS total observadas nestes tratamentos, que pode estar relacionada à maior disponibilização de N para as culturas através da FBN na soja, pois, de acordo com Ammann et al. (2007), a maior disponibilidade de nitrogênio e a utilização frequente da forragem favorecem o aumento do sequestro de carbono, que pode alcançar $1.470 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, se disponibilizada uma quantidade de N equivalente a 200 kg ha^{-1} , para forragens temperadas.

Além disto, verificou-se que a produção de MS total, das associações sem aporte de N, não diferiram ($P>0,05$) dos demais tratamentos, demonstrando o potencial de FBN pelas leguminosas em suprir, parcialmente, a necessidade de N para o desenvolvimento das gramíneas. Neste sentido, as leguminosas podem contribuir para a menor necessidade de utilização de fertilizantes nitrogenados, os quais respondem pela emissão do óxido nitroso (N_2O) nos sistemas agrícolas.

A razão carbono/nitrogênio (C/N) reduziu ($P<0,05$) em função da maior participação das leguminosas na MS total produzida (Figura 2B), verificando-se menor razão C/N em todas as associações com leguminosas, em relação ao sorgo em monocultivo, exceto no SAECP. Forragens com menor razão C/N são mais rapidamente decompostas, disponibilizando rapidamente o N para o solo, esta característica é comumente observada nas leguminosas, as quais são, em geral, utilizadas como culturas de adubação verde (SMITH; VALENZUELA, 2002).



I - sorgo anão puro; II - sorgo gigante puro; III - sorgo anão + soja + densidade padrão; IV - sorgo anão + soja + baixa densidade; V - sorgo anão + soja + alta densidade; VI - sorgo anão + soja + densidade padrão na mesma linha; VII - sorgo anão + soja + densidade padrão sem nitrogênio; VIII - sorgo anão + feijão (M. de venise) + densidade padrão; IX - sorgo anão + ervilha + densidade padrão; X - sorgo anão + trevo + densidade padrão; XI - sorgo anão + ervilhaca + densidade padrão; XII - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão; XIII - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + baixa densidade; XIV - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + alta densidade; XV - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão na mesma linha; XVI - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão sem nitrogênio; XVII - sorgo gigante + feijão (Alaric) + densidade padrão e XVIII - sorgo gigante + feijão (espanhol) + densidade padrão.

Figura 2. Equações de regressão para sequestro de carbono, em função da produção de matéria seca total (A) e razão C/N em função dos níveis de leguminosas na forragem (B).

Como média geral, entre todos os tratamentos, verificou-se alta incidência de plantas invasoras (classe 5,6 = 50 a 100 plantas/m²), apresentando correlação negativa com a produção das leguminosas ($r = -0,22$; $P<0,05$). Para a cobertura do solo nas parcelas (Nota visual global) das associações com sorgo gigante, constatou-se diminuição ($P<0,05$) nas associações SGFNAD e SGFEP em relação ao SGFNP, SGFNBD e SGP. Enquanto que, dentre as associações com sorgo anão, observou-se diferença entre SAP (7,5) e SASBD

(7,5) em relação ao SAFVP (5,0), não diferindo dos demais. A cobertura do solo apresentou correlação negativa com a produção de MS das leguminosas ($r = -0,16$; $P < 0,05$), porém, não afetando a produção do sorgo ($r = 0,21$; $P < 0,05$). Isso pode ser explicado pelo maior porte do sorgo, o que evita a concorrência direta pela radiação solar com as plantas invasoras após o período inicial do crescimento.

No momento da colheita, o teor médio de MS da massa de forragem em todas as associações foi de 308 g kg^{-1} MN, observando-se menores concentrações ($P < 0,05$) para SGFEP em relação aos tratamentos SAFVP, SGFNAD, SGFNML e SGFNSN (Tabela 4). Esta diminuição da MS se explica pela maior proporção de folhas observadas no feijão espanhol, pelo seu ciclo de produção ser mais tardio que as demais leguminosas utilizadas neste experimento, mantendo suas folhas por maior tempo. As proporções de folhas nas leguminosas se correlacionaram negativamente com os teores de MS ($r = -0,28$; $P < 0,001$). Em geral, quando na fase vegetativa, as folhas apresentam maiores concentrações de água, refletindo em teores de MS inferiores em relação às demais frações da planta. A mesma característica foi observada por Silva et al. (2013), que relataram menores concentrações de MS na fração folha em relação ao caule de estilosantes.

Nas associações com estabelecimento padrão, verificaram-se maiores concentrações de matéria mineral (MM) nas associações de sorgo gigante com os feijões Alaric (SGFAP) e espanhol (SGFEP). Não foi observado diferenças na concentração de MM em função da forma de estabelecimento da cultura. No entanto, a inclusão da soja em baixa densidade (SASBD), alta densidade (SASAD) e sem aporte de N (SASSN) ocasionaram aumento no teor de MM em relação ao sorgo anão em monocultivo. Em relação ao sorgo gigante, o aumento na MM foi verificado para as associações com feijões Neckargol (alta densidade), Alaric e espanhol, estando correlacionado positivamente com a produção de maiores quantidades de folhas por estas leguminosas ($r = 26$; $P < 0,01$). Tiritan et al. (2013) relataram não haver diferença no conteúdo de MM entre a cultivo de sorgo puro ou em associação com guandu-anão, obtendo teores de 59 e 60 g kg^{-1} MS, respectivamente.

Para proteína bruta (PB), observou-se incremento ($P < 0,05$) para o sorgo anão associado com soja em todas as formas de estabelecimento, e para o sorgo gigante nas associações com os feijões Alaric (SGFAP) e Neckargold, exceto em baixa densidade de semeadura. Os níveis proteicos aumentaram em média $61,39\%$ para as associações do sorgo anão com a soja e, em $95,40$ e $78,49\%$ para as associações do sorgo gigante com o feijão Alaric e Neckargold (exceto no SGFNBD), respectivamente, em relação ao cultivo singular dos sorgos. Da mesma forma, Kotten et al. (2013) constataram aumento médio dos teores de PB, independente das formas de estabelecimentos entre a cultura de sorgo com feijão-fava (*Phaseolus lunatus*), na ordem de $97,44\%$ e obtiveram incremento máximo de $158,14\%$ quando do cultivo do feijão-fava estabelecido em linhas distando $1,2$ m, intercaladas por uma linha de sorgo. Aumentos na produção de proteína de 68 e 25% , para a cultura de sorgo em associação com o feijão verde e com a soja, respectivamente, foram reportados por Arshad e Ranamukhaarachchi (2012).

A baixa contribuição em PB nas associações dos sorgos com o feijão M. de venise, ervilha, trevo e ervilhaca pode ser atribuído à precocidade das leguminosas, visto que no momento da colheita grande parte deste material já estava em senescência, apresentando baixa participação na MS total. O mesmo comportamento ocorreu em relação ao feijão Neckargold em baixa densidade. Porém, isso não se aplica ao

feijão espanhol, o qual apresentou elevada produção de MS, de modo que a sua baixa contribuição nos níveis de PB está relacionado à menor proporção de vagem e produção de grãos, visto que estas variáveis apresentam forte correlação positiva com os teores de PB ($r = 0,33$; $P < 0,0001$ e $r = 0,22$; $P < 0,01$, respectivamente).

O incremento nos teores de PB na MS total ocorreu de forma linear com o aumento da inclusão das leguminosas. Porém, suprimido o tratamento SGFEP, que teve alta contribuição de MS com reduzida proporção de vagens, há aumento significativo no coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8452$), conforme observados nas equações PB_1 e PB_2 , respectivamente (Figura 3).

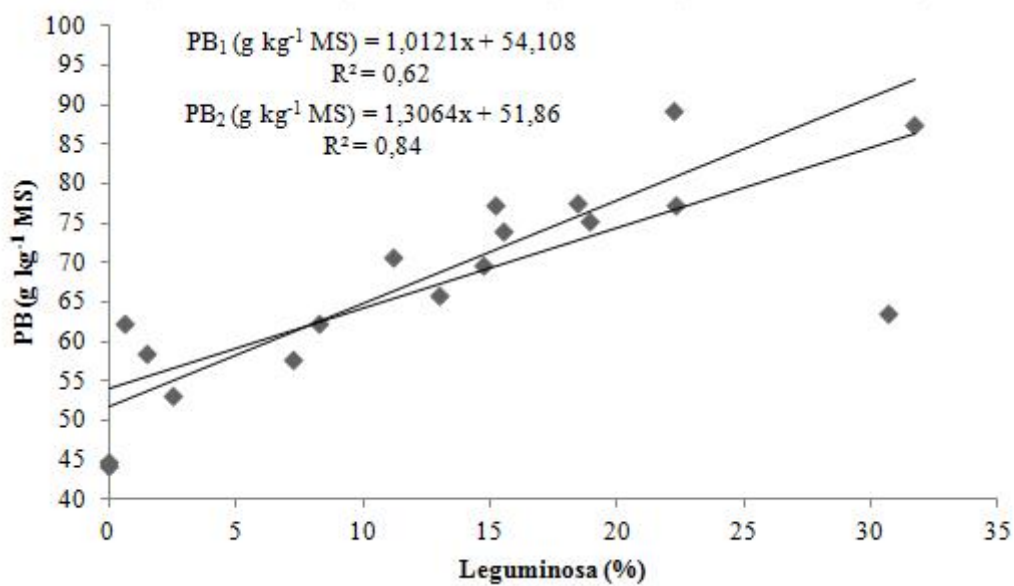


Figura 3. Aumento nas concentrações de proteína bruta (PB) e equações de regressão, (PB_1 - todos os tratamentos) e (PB_2 - supressão da associação sorgo-feijão espanhol), em função dos níveis de leguminosas na forragem.

Como estimativa do possível potencial de utilização da proteína pelos animais, observou-se que o sorgo anão (SAP) apresenta maiores concentrações de NIDN ($P < 0,05$) que o sorgo gigante (SGP), não diferindo nos teores de NIDA (Tabela 4). Constatou-se que as associações com ervilha e trevo proporcionaram aumento ($P < 0,05$) nas concentrações do NIDN em relação ao SAP, porém, não diferindo em NIDA. Para os tratamentos com sorgo gigante, observaram-se maiores valores de NIDN nos cultivos consorciados, com exceção da condução em baixa densidade (SGFNBD), refletindo o acréscimo dos teores de PB.

Tabela 4. Valores de matéria seca em g kg⁻¹ MN (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), carboidratos solúveis (CHOs), amido, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), carbono orgânico total (COT), carbono orgânico insolúvel em detergente neutro (COIDN) e carbono orgânico insolúvel em detergente ácido (COIDA), expressos em g kg⁻¹ MS, de culturas mistas de sorgo-leguminosa

Tratamento	MS	MM	PB	NIDN	NIDA	CHOs	Amido	FDN	FDA	Lignina	COT	COIDN	COIDA	DIVMS
SAP	310 ^{ab}	50 ^d	44 ^d	2,06 ^{cdefg}	0,19 ^{bcd}	158 ^{abc}	51 ^e	512 ^{abcde}	242 ^{abcd}	20 ^{def}	441 ^{bc}	236 ^{ab}	106 ^{bc}	646 ^d
SGP	300 ^{ab}	51 ^{cd}	45 ^d	1,23 ^j	0,23 ^{bcd}	187 ^a	88 ^{abcde}	455 ^{hi}	219 ^d	10 ^g	432 ^{ef}	206 ^{de}	94 ^d	718 ^{ab}
SASP	306 ^{ab}	58 ^{abcd}	66 ^{bc}	2,36 ^{abcd}	0,18 ^{bcd}	118 ^{def}	96 ^{abcd}	521 ^{abc}	258 ^{ab}	30 ^{ab}	441 ^b	239 ^a	116 ^{ab}	660 ^d
SASBD	295 ^{ab}	58 ^{abc}	71 ^{abc}	2,45 ^{abc}	0,21 ^{bcd}	107 ^{ef}	112 ^{ab}	506 ^{abcdef}	256 ^{ab}	33 ^a	442 ^b	233 ^{abc}	115 ^{ab}	666 ^{cd}
SASAD	300 ^{ab}	59 ^{ab}	77 ^{ab}	2,42 ^{abc}	0,26 ^{bcd}	101 ^f	101 ^{abcd}	516 ^{abcd}	266 ^a	32 ^a	443 ^{ab}	237 ^a	119 ^a	661 ^d
SASML	305 ^{ab}	58 ^{abcd}	74 ^{abc}	2,36 ^{abcd}	0,34 ^{abc}	105 ^f	110 ^{abc}	502 ^{bcdefg}	259 ^{ab}	33 ^a	441 ^{bc}	231 ^{abc}	116 ^{ab}	658 ^d
SASSN	294 ^{ab}	59 ^{abc}	70 ^{abc}	2,16 ^{cdef}	0,19 ^{bcd}	108 ^{ef}	99 ^{abcd}	522 ^{ab}	263 ^{ab}	31 ^a	441 ^{bc}	240 ^a	117 ^{ab}	651 ^d
SAFVP	333 ^a	53 ^{bcd}	58 ^{bcd}	2,14 ^{cdefg}	0,08 ^d	133 ^{cdef}	68 ^{cde}	539 ^a	261 ^{ab}	29 ^{ab}	437 ^{cd}	248 ^a	116 ^{ab}	639 ^d
SAEP	304 ^{ab}	55 ^{bcd}	62 ^{bcd}	2,56 ^{ab}	0,29 ^{abc}	118 ^{def}	95 ^{abcd}	527 ^{ab}	249 ^{ab}	30 ^{ab}	446 ^a	242 ^a	111 ^{ab}	648 ^d
SATP	301 ^{ab}	53 ^{bcd}	59 ^{bcd}	2,69 ^a	0,26 ^{bcd}	121 ^{def}	97 ^{abcd}	524 ^{ab}	247 ^{ab}	29 ^{ab}	443 ^{ab}	242 ^a	110 ^{ab}	651 ^d
SAECP	302 ^{ab}	53 ^{bcd}	53 ^{cd}	2,26 ^{bcd}	0,17 ^{bcd}	140 ^{bcde}	66 ^{de}	534 ^{ab}	254 ^{ab}	28 ^{abc}	440 ^{bc}	246 ^a	113 ^{ab}	646 ^d
SGFNP	310 ^{ab}	57 ^{abcd}	75 ^{ab}	1,66 ^{hi}	0,15 ^{cd}	159 ^{abc}	94 ^{abcde}	472 ^{fghi}	241 ^{bcd}	20 ^{def}	434 ^{def}	213 ^{de}	106 ^{bc}	710 ^{ab}
SGFNBD	306 ^{ab}	55 ^{bcd}	62 ^{bcd}	1,49 ^{ij}	0,18 ^{bcd}	150 ^{bcd}	128 ^a	448 ⁱ	222 ^d	15 ^{fg}	433 ^{def}	202 ^e	97 ^{cd}	732 ^a
SGFNAD	319 ^a	59 ^{ab}	89 ^a	2,02 ^{defgh}	0,18 ^{bcd}	173 ^{ab}	62 ^{de}	485 ^{cdefgh}	255 ^{ab}	22 ^{cde}	433 ^{def}	220 ^{bcd}	112 ^{ab}	706 ^{ab}
SGFNML	319 ^a	54 ^{bcd}	77 ^{ab}	1,78 ^{fghi}	0,20 ^{bcd}	166 ^{abc}	81 ^{bcde}	478 ^{efghi}	243 ^{abc}	18 ^{ef}	432 ^{ef}	216 ^{cde}	106 ^{bc}	716 ^{ab}
SGFNSN	325 ^a	57 ^{abcd}	78 ^{ab}	1,75 ^{ghi}	0,47 ^a	149 ^{bcd}	105 ^{abcd}	469 ^{ghi}	251 ^{ab}	20 ^{def}	431 ^f	212 ^{de}	109 ^{ab}	713 ^{ab}
SGFAP	332 ^a	63 ^a	87 ^a	1,77 ^{fghi}	0,36 ^{ab}	152 ^{abcd}	84 ^{bcde}	458 ^{hi}	250 ^{ab}	24 ^{bcde}	435 ^{de}	207 ^{de}	110 ^{ab}	707 ^{ab}
SGFEP	276 ^b	64 ^a	64 ^{bcd}	1,88 ^{efghi}	0,29 ^{abc}	140 ^{bcde}	94 ^{abcde}	480 ^{defghi}	263 ^{ab}	25 ^{bcd}	434 ^{def}	219 ^{bcd}	116 ^{ab}	692 ^{bc}
MÉDIA	308	56	67	2,06	0,24	138,14	91	497	250	25	438	227	111	679
*EPM	2,16	0,46	1,38	0,03	0,01	2,59	2,48	2,85	1,47	0,61	0,42	1,43	0,75	2,90

SAP - sorgo anão puro; SGP - sorgo gigante puro; SASP - sorgo anão + soja + densidade padrão; SASBD - sorgo anão + soja + baixa densidade; SASAD - sorgo anão + soja + alta densidade; SASML - sorgo anão + soja + densidade padrão na mesma linha; SASSN - sorgo anão + soja + densidade padrão sem nitrogênio; SAFVP - sorgo anão + feijão (M. de venise) + densidade padrão; SAEP - sorgo anão + ervilha + densidade padrão; SATP - sorgo anão + trevo + densidade padrão; SAECP - sorgo anão + ervilhaca + densidade padrão; SGFNP - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão; SGFNBD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + baixa densidade; SGFNAD - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + alta densidade; SGFNML - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão na mesma linha; SGFNSN - sorgo gigante + feijão (Neckargold) + densidade padrão sem nitrogênio; SGFAP - sorgo gigante + feijão (Alaric) + densidade padrão e SGFEP - sorgo gigante + feijão (espanhol) + densidade padrão. Médias na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). *EPM = erro-padrão da média.

O teor de NIDA não diferiu ($P>0,05$) entre os tratamentos com sorgo anão. Já nas associações com sorgo gigante, maiores concentrações de NIDA foram observadas no SGFNSN e SGFAP em relação à cultura pura, indicando a menor proporção de N potencialmente disponível para a microbiota ruminal. Segundo Silva et al. (2013), quanto menor for a concentração de NIDN e NIDA, maior é a disponibilidade do N e, conseqüentemente, melhor a digestibilidade da proteína nas forragens, o que pode ser potencializado em alimentos ricos neste constituinte. Desta forma, quanto menor for a razão NIDA/N-total, maior será a quantidade de N utilizável no metabolismo animal.

Como resultado das variações nos teores de PB nas forragens, verificou-se que o sorgo gigante apresentou razão NIDA/N-Total semelhante ao sorgo anão (Figura 4). A inclusão das leguminosas tendeu a diminuir esta razão, observando-se diferença ($P<0,05$) quando da associação do sorgo anão ao feijão M. de venise, em relação ao monocultivo, o que implica em melhora nos níveis nutricionais pelo aumento de PB disponível. Dentre os tratamentos com sorgo anão, a associação com soja (mesma linha), ervilha e trevo foram as que menos contribuíram para estes benefícios, possivelmente pela baixa contribuição na MS total. Para as associações com o sorgo gigante, apenas os tratamentos SGFNSN, SGFAP e SGFEP não diminuíram ($P<0,05$) a razão NIDA/N-Total. Assim, as duas associações com melhor “perfil proteico” ($P<0,05$) foram SAFVP e SGFNAD e as piores foram SAEP e SGFNSN, as quais aumentaram ($P>0,05$) os valores de NIDA/N-Total em relação ao sorgo puro.

Os níveis de carboidratos solúveis (CHOs) e de amido foram semelhantes entre as duas cultivares de sorgo. Contudo, a inclusão das leguminosas reduziu ($P<0,05$) a concentração destes nutrientes nos tratamentos com sorgo anão, com exceção do SAECP e SAFVP. Dentre as associações com sorgo gigante, decréscimo foi observado apenas para os teores de CHOs, nas misturas SGFNBD, SGFNSN e SGFEP. Observou-se correlação negativa entre CHOs e proporções de folhas e vagens das leguminosas, o que se deve ao fato de as folhas de leguminosas apresentarem maiores proporções nitrogênio/carboidratos que as gramíneas, ocasionando, desta forma, redução em termos proporcionais na MS total.

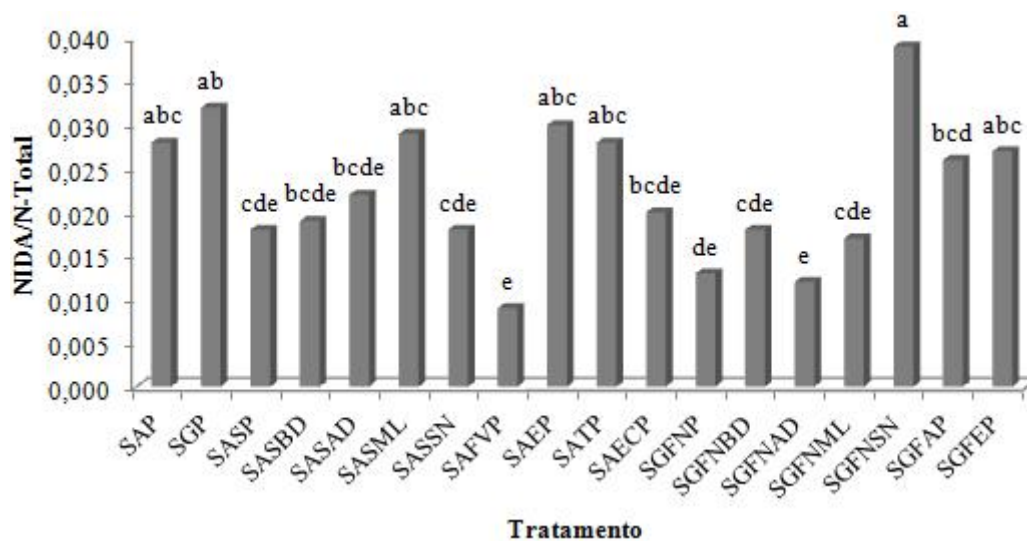


Figura 4. Razão NIDA/N-Total para as diferentes associações e métodos de estabelecimento de sorgo com leguminosas.

Para os carboidratos estruturais, verificaram-se maiores concentrações de FDN no sorgo anão (512 g kg⁻¹ MS), e sua associação com as leguminosas não proporcionou nenhum efeito significativo. Do mesmo modo, o cultivo consorciado não modificou ($P < 0,05$) os teores de FDN em relação ao monocultivo do sorgo gigante (455 g kg⁻¹ MS). Porém, houve aumento ($P > 0,05$) da fração FDN nas associações SGFNAD, SGFNML e SGFEP, equivalente ao observado para o sorgo anão.

Valores de FDN, superiores aos observados nesse estudo, foram relatados por Emile et al. (2009) para o sorgo anão (580 g kg⁻¹ MS) e gigante (600 g kg⁻¹ MS), em sistema de monocultivo. Quando em sistema de consórcio do sorgo com o feijão verde, Arshad (2012) registrou reduções na concentração de hemicelulose e de celulose na ordem de 15% e entre 33 e 36%, respectivamente. Os mesmos autores observaram efeito similar para a associação sorgo soja, com reduções de 36 a 37% e de 34 a 38% nos níveis de hemicelulose e celulose, respectivamente, em relação ao sorgo puro. Os autores atribuem esta diminuição à redução na atividade fotossintética e a competição de crescimento entre as culturas, aliado a uma possível limitação dos recursos como luminosidade, água e nutrientes, relatando haver alta competitividade das leguminosas com o sorgo.

Diferentemente dos teores de FDN, não houve diferença ($P > 0,05$) nas concentrações de FDA entre o sorgo anão e sorgo gigante, indicando a existência de maior quantidade de hemicelulose do sorgo anão. Quando comparado com o sorgo anão em monocultura, estas concentrações não foram alteradas pela associação com leguminosas. Contudo, para o sorgo gigante, a associação com leguminosa (SGFNAD, SGFNML, SGFNSN, SGFAP e SGFEP) aumentou os níveis de FDA, estando correlacionado positivamente com a proporção de leguminosas ($r = 0,29$; $P < 0,001$). Do mesmo modo, Ngongoni et al. (2007) observaram que o consórcio do sorgo com feijão caupi, lablab e soja não alterou os valores de FDA, porém, quando em associação com a crotalaria, o FDA aumentou em 34,06%. Estas diferenças nos resultados sugerem que os padrões das concentrações de FDA, em forragens consorciadas, podem variar em função do tipo de sorgo, da espécie de leguminosa e da forma de estabelecimento da cultura.

Como esperado, o sorgo gigante apresentou menores concentrações de lignina que o sorgo anão e todas as associações a ele feitas, pela presença do gene *brm*. Com a inclusão das leguminosas, observou-se acréscimo nos valores de lignina na MS total da forragem. Porém, nos consórcios com o sorgo anão não houve diferença ($P > 0,05$) entre tratamentos. Para o sorgo gigante, apenas o tratamento com baixa densidade (SGFNBD) não diferiu da condição de monocultivo, o que se deve à baixa proporção da leguminosa em sua MS total. Nos demais tratamentos com sorgo gigante, os níveis de lignina aumentaram em proporções tal que alcançaram valores estatisticamente iguais ao sorgo anão (SAP).

Estes resultados são pelas altas concentrações de carboidratos estruturais presentes nas leguminosas, que estão frequentemente associado ao tecido de sustentação destas plantas, podendo, este efeito, ser ampliado em função das proporções de caule e folhas. Observou-se que todas as frações das leguminosas apresentaram correlação positiva com os níveis de lignina, principalmente caule, folhas e vagens ($r = 0,22$; $P < 0,01$, $r = 0,46$; $P < 0,001$ e $r = 0,53$; $P < 0,001$, respectivamente), enquanto para o sorgo, verificou-se alta correlação negativa em função do colmo ($r = -0,73$; $P < 0,001$), o qual é rico em carboidratos solúveis, o que foi constatado pela correlação positiva entre colmo do sorgo e CHOs ($r = 0,62$; $P < 0,001$).

Observou-se a existência de correlações negativas entre concentração de carbono orgânico total (COT), carbono insolúvel em detergente neutro (COIDN) e carbono insolúvel em detergente ácido (COIDA) em relação à DIVMS ($r = -0,70$; $P < 0,0001$, $r = -0,90$; $P < 0,0001$ e $r = -0,60$; $P < 0,0001$, respectivamente). Os menores valores destas variáveis estão relacionados às maiores proporções de colmo do sorgo, o que pode ser explicado pelo elevado nível de carboidratos solúveis presentes no colmo do sorgo. Porém, não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) para as concentrações de COT em função da associação das leguminosas aos sorgos, exceto para o sorgo anão com a ervilha (SAEP) onde houve aumento. Do mesmo modo, para os valores de COIDN, não foram observadas diferenças ($P > 0,05$), com exceção do SGFNBD e SGFNAD, onde o tratamento com alta densidade de leguminosas apresentou maiores concentrações. Quanto às concentrações de COIDA, observou-se que as leguminosas aumentaram os níveis deste componente na forragem. Estes aumentos foram verificados em todas as associações com o sorgo gigante, exceto com plantio em baixa densidade de leguminosas (SGFNBD), e para o tratamento SASAD. Isto se explica, possivelmente, pela maior concentração de CHOs no sorgo gigante, sendo necessário, para o sorgo anão, alta participação da leguminosa para alterar as concentrações de COIDA (Tabela 4).

Como resultado de todas as variáveis já apresentadas, verificou-se que a forragem de sorgo gigante apresentou maior digestibilidade em relação ao sorgo anão, com valores de 718,25 e 645,61 g kg⁻¹ MS, respectivamente. O uso das leguminosas em associação com os sorgos não proporcionaram melhoras na DIVMS, apesar das leguminosas contribuírem com o aumento na concentração de proteínas proporcionalmente aos seus níveis de inclusão na MS total da forragem. Os níveis da FDN não foram alterados ($P > 0,05$) pela inclusão das leguminosas. No entanto, verificou-se aumento nas concentrações de lignina e, conseqüentemente, da FDA, sendo, melhor observado nas associações com o sorgo gigante, por este apresentar o gene BMR. Quando a participação de leguminosa foi fortemente aumentada em associação com o sorgo gigante (SGFEP), observou-se redução significativa da DIVMS em relação ao de baixa proporção da leguminosa (SGFNBD), e valor similar ($P < 0,05$) ao tratamento SASBD (sorgo anão com baixa participação de leguminosa). Isto possivelmente ocorreu devido à baixa digestibilidade da parede celular das leguminosas, pelas maiores concentrações de lignina.

Conclusões

Não há diferença na produtividade dos sorgos anão e gigante, em monocultivo. Porém, o sorgo gigante se destaca pelo melhor potencial para produção de forragem de qualidade em relação ao sorgo anão, com ou sem a associação com leguminosas, por apresentar melhor composição químico-bromatológica e DIVMS.

A soja em associação com o sorgo anão, independente da forma de estabelecimento, tem maior participação na matéria seca total da forragem, enquanto os feijões espanhol, Alaric e Neckargold, consorciado com o sorgo gigante, apresentam produtividade superior quando estabelecido em densidade padrão.

O ponto máximo de sequestro de carbono ocorre com a inclusão de 13% de soja, em consórcio com o sorgo anão. Níveis maiores de leguminosas reduzem carbono retido pela parte aérea das forragens.

O cultivo do sorgo associado a leguminosas, sem a aplicação de nitrogênio, é viável, visto que a dose de nitrogênio utilizada neste experimento (61 kg N ha⁻¹) não contribui para o aumento na produção de forragem.

A inclusão de leguminosas em associação com o sorgo não proporciona aumento na produtividade e na DIVMS da MS total, embora aumente os teores de proteínas da forragem.

Devem-se priorizar espécies de leguminosas com ciclo produtivo semelhante ao sorgo, não sendo viável a utilização do trevo, da ervilha e da ervilhaca, nas formas de estabelecimentos estudadas neste experimento, visto que suas contribuições são mínimas.

Referências

- AHMAD, A.H.; AHMAD, R.; MAHMOOD, N. Production potential and quality of mixed sorghum forage under different intercropping systems and planting patterns. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Faisalabad, v. 44, n. 2, p. 203-207, 2007.
- AKHTAR, M.F.; AHMAD, A.H.; ZAMIR, M.S.I.; KHALID, F.; MOHSIN, A.U.; AFZAL, M. Agro-qualitative studies on forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) sown alone and in mixture with forage legumes. *Pakistan Journal of Science*, Lahore, v. 65, n. 2, p. 179-185, 2013.
- AMMANN, C.; FLECHARD, C.R.; LEIFELD, J.; NEFTEL, A.; FUHRER, J. The carbon budget of newly established temperate grassland depends on management intensity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Zurich, v. 121, n. 1-2, p. 5-20, 2007.
- ARSHAD, M. Yield comparison of structural carbohydrates in sweet sorghum and legumes under single and double cropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, Dubai, v. 12, n. 2, p. 210-223, 2012.
- ARSHAD, M.; RANAMUKHAARACHCHI, S.L. Effects of legume type, planting pattern and time of establishment on growth and yield of sweet sorghum-legume intercropping. *Australian Journal of Crop Science*, Brisbane, v. 6, n. 8, p.1265-1274, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. 3rd revision, Washington, D.C., 1997.
- AUFRERE, J. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de Zootechnie*, Les Ulis, v. 31, n. 2, p. 111-130, 1982.
- AYUB, M.; SHOAIB, M. Studies on fodder yield and quality of sorghum grown alone and in mixture with guara under different planting techniques. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Faisalabad, v. 46, n. 1, p. 25-29, 2009.
- BORRELL, A.K; HAMMER, G.L. Nitrogen Dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Science*, Madison, v. 40, n. 5, p. 1295-1307, 2000.
- CELLIER, V.; COLNENNE-DAVID, C.; DEYTIEUX, V.; PLESSIX, S. [2014] *Res0pest: un réseau expérimental de systèmes de culture "zéro pesticide" en grande culture et polyculture-élevage - Plaque de présentation du projet*. Disponível em: <http://www6.inra.fr/reseau-pic/content/download/3090/31526/version/3/file/Res0Pest_plaquette_presentation_Avril_2014.pdf>. Acesso em: 15/09/2014.
- CHEN, C.; WESTCOTT, M.; NEILL, K.; WICHMAN, D.; KNOX, M. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 6, p. 1730-1738, 2004.
- CHILLIARD, Y.; REMOND, B.; AGABRIEL, J. et al. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. *Bulletin Technique CRZV Theix - INRA*, Theix, v. 70, p. 117-131, 1987.

- CONTRERAS-GOVEA, F.E.; LAURIAULT, L.M.; MARSALIS, M.; ANGADI, S.; PUPPALA, N. Performance of forage sorghum-legume mixtures in southern High Plains, USA. *Forage and Grazinglands*, Madison, v. 7, n. 1, p. 401-414, 2009.
- CORRÊA, C.E.S.; RODRIGUES, J.A.S.; GONÇALVES, L.C. Determinação da produção de matéria seca e das proporções de colmo, folha e panícula de treze híbridos de sorgo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. CD-ROM.
- DIDIER, G. *Culture et utilisation du sorgho grain ensilé en plante entière pour l'engraissement des taurillons*. Compte rendu d'essai n° 91093 – CEESO/SOUAL. Institut de l'Élevage, 1991. 32p.
- DUMAS, J.B.A. Procédés de l'analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique*. Paris, v. 2, p. 198–213, 1831.
- EMILE, J.C.; BARRIÈRE, Y. Effets de la teneur en grain de l'ensilage de maïs sur les performances zootechniques de vaches laitières. *INRA Productions Animales*, Paris, v. 5, n. 2, p.113-120, 1992.
- EMILE, J.C.; LE ROY, P.; BOURGOIN, F. ; AL RIFAI, M. Comparaison de types de sorgho ensilés pour des vaches laitières. In: RENCONTRE RECHERCHE RUMINANTS, 16, 2009, Paris, *proceedings...* Paris: 3R, 2009. p. 51.
- HAMMER, G.L. Pathways to prosperity: Breaking the yield barrier in sorghum. *Agricultural Science*, Austrália, v. 19, n. 2, p. 16-22, 2006.
- HINGRA, S.H.; DAVIS, B.; AKHTAR, M.J.A. Fodder Production. Food and Agriculture Organization of the United Nation, 1995. 28p.
- HOLDEN, L.A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 82, n. 8, p. 1791-1794, 1999.
- IQBAL, A.; AYOUB, M.; ZAMAN, H.; AHMAD, R. Impact of nutrient management and legume association on agro-qualitative traits of maize forage. *Pakistan Journal of Botany*, Karachi, v. 38, n. 4, p. 1079-1084, 2006.
- JAVANMARD, A.; NASAB, A.D.M.; JAVANSHIR, A.; MOGHADDAM, M.; JANMOHAMMADI, H. Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. *Journal Food, Agriculture and Environment*, Helsinki, v. 7, n. 1, p. 163-166, 2009.
- KOTEN, B.B.; SOETRISNO, R.D.; NGADIYONO, N.; SOEWIGNYO, B. Nilai nutrisi hijauan hasil tumpangsari arbila (*Phaseolus lunatus*) berinokulum rhizobium dengan sorgum (*Sorghum bicolor*) pada jarak tanam arbila dan jumlah baris sorgum berbeda. *JITP*, Surakarta, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2013.
- LAURIAULT, L.M.; KIRKSEY, R.E. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass-legume intercrops in the Southern High Plains. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 2, p. 352-358, 2004.
- LEGARTO, J. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages*, Versailles, n. 163, p. 323-338, 2000.
- LI, L.; ZHANG, F.S.; LI, X.L.; CHRISTIE, P.; SUN, J.H.; YANG S.C.; TANG, C. Inter specific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Ithaca, v. 65, n. 1, p. 61-71, 2003.
- MACEDO, C.H.O.; SANTOS, E.M.; DA SILVA, T.C.; DE ANDRADE, A.P.; DA SILVA, D.S.; DA SILVA, A.P.G.; DE OLIVEIRA, J.S. Produção e composição bromatológica do sorgo (*Sorghum bicolor*) cultivado sob doses de nitrogênio. *Archivos de zootecnia*, Córdoba, v. 61, n. 234, p. 209-216, 2012.
- MARTINS, M.C.; CÂMARA, G.M.S.; PEIXOTO, C.P.; MARCHIORI, L.F.S.; LEONARDO, V.; MATTIAZZI, P. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 851-858, 1999.
- MORAES, S.D.; JOBIM, C.C.; SILVA, M.S.; MARQUARDT, F.I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 14, n. 4, p.624-634, 2013.
- NGONGONI, N.T.; MWALE, M.; MAPIYE, C.; MOYO, M.T.; HAMUDIKUWANDA, H.; TITTERTON,

- M. Evaluation of cereal-legume intercropped forages for smallholder dairy production in Zimbabwe. *Livestock Research for Rural Development*, Cali, v. 19, n. 9, p. 01-21, 2007.
- OFFICE FÉDÉRAL DE L'AGRICULTURE - OFAG. *Stratégie climat pour l'agriculture: protection du climat et adaptation au changement climatique pour une agriculture et une économie alimentaire suisses durables*. 2011. Disponível em: < <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/23214.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.
- OLIVEIRA, R.P.; FRANÇA, A.F.S.; FILHO, O.R.; OLIVEIRA, E.R.; ROSA, B.; SOARES, T.V.; MELLO, S.Q.S. Características agronômicas de cultivares de sorgo ((*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sob três doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 45-53, 2005.
- OLIVER, A. L.; PEDERSEN, J.F.; GRANT, R.J.; KLOPFENSTEIN. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Science*, Madison, v. 45, n. 6, p. 2234-2239, 2005.
- RASHID, A.; HIMAYATULLAH; KHAN, R.; FAROOQ, M.A. Effect of legume intercropping on sorghum production. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Faisalabad, v. 41, n. 3/4, p. 109-113, 2004.
- REZENDE, G.M.; PIRES, D.A.A.; BOTELHO, P.R.F.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; SALES, E.C.J.; AYME, D.G.; REIS, S.T.; PIMENTEL, L.R.; LIMA, L.O.B.; KANEMOTO, E.R.; MOREIRA, P.R. Características agronômicas de cinco genótipos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivados no inverno, para a produção de silagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p.171-179, 2011.
- SAGUIN, B. Le changement climatique: conséquences pour l'agriculture et la forêt. *Rayonnement du CNRS*, Paris, v. 2, n. 54, p.36-47, 2010.
- SANTOS, J.B.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; COSTA, L.C. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 147-153, 2003.
- _____. *SAS/STAT® user's guide*. version 9.2. 2.ed. Cary, North Caroline: Statistical Analysis System Institute Inc, 2009. 7869 p.
- SILVA, M.S.J.; JOBIM, C.C.; NASCIMENTO, W.G.; FERREIRA, G.D.G.; SILVA, M.S.; TRÊS, T.T. Estimativa de produção e valor alimentício do feno de estilosantes cv. Campo Grande. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1363-1380, 2013.
- SMITH, J.; VALENZUELA, H. [2002] Wollypod vetch. Disponível em: <<http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/GreenManureCrops/woollypodvetch.pdf>>. Acesso em: 20/09/2014.
- SOLANO, L.; YAMASHITA, O.M. Cultivo da soja em diferentes espaçamentos entre linhas. *Revista Varia Scientia Agrárias*, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 35-47, 2011.
- SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; MELLO, F.F.C. Componentes da produção e produtividade de culturas de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p. 965-974, 2010.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-state technique for in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, Kenilworth, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.
- TIRITAN, C.S.; SANTOS, D.H.; MINUTTI, C.R.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Bromatological composition of sorghum, millet plant and dwarf-guandu at different cut times in intercropping and monoculture. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 35, n. 2, p. 183-190, 2013.
- TRAXLER, M.J.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J.; PELL, A.N.; LASCANO, C.E.; LANNA, D.P.D.; MOORE, J.E.; LANA, R.P.; VÉLEZ, M.; FLORES, A. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 76, n. 5, p. 1469-1480, 1998.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 74, n. 12, p. 3583-3597, 1991.

IV – Valor nutricional de silagens mistas de sorgo com leguminosas e desempenho produtivo de vacas leiteiras

Nutritional value of mixed silages of sorghum and legumes and productive performance of dairy cows

(Normas: Semina: Ciências Agrárias)

RESUMO: Objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade de silagens produzidas com sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) associado a leguminosas e verificar o desempenho produtivo e a qualidade do leite de vacas em lactação, alimentadas com dietas à base destas silagens. Os tratamentos consistiram de duas silagens mistas, confeccionadas a partir do sorgo anão (cv. Surgo) em consórcio com soja (*Glycine max* L.) e do sorgo gigante (cv. Sweet Virginia BMR) com feijão (*Phaseolus coccineus* L.), cultivados em uma área de 3,5 ha cada, dividida em três repetições. No estudo de desempenho animal, utilizaram-se 12 vacas multíparas da raça Prim'Holstein (PO), agrupadas em dois lotes de seis animais, baseando-se no número de dias em lactação, número de lactação e produção de leite. O período experimental consistiu de 21 dias de adaptação e dois períodos experimentais de 21 dias cada, acrescido de um período pós-experimental de 15 dias. Os dados foram analisados pelo software SAS, por meio de delineamento inteiramente casualizado, para as silagens, e delineamento *cross-over*, para os dados de desempenho das vacas. Observou-se melhor produtividade no consórcio sorgo anão-soja (4,19 t MS ha⁻¹). A forragem de sorgo gigante-feijão apresentou maiores níveis de PB e NIDN e menores concentrações de FDN e FDA que a forragem de sorgo anão-soja, porém, sem diferir (P>0,05) nos valores de DIVMS. Entretanto, as silagens de sorgo anão-soja demonstraram melhor (P<0,05) composição químico-bromatológica e digestibilidade da MS que a silagem de sorgo gigante-feijão. Ocorreram maiores perdas de matéria orgânica, durante o processo fermentativo, na silagem de sorgo anão-soja (12,41%), porém, esta demonstrou maior estabilidade aeróbia. Observou-se que as vacas que receberam dietas à base de silagem de sorgo anão-soja consumiram maiores quantidades de matéria seca da ração total, bem como, produziram maiores quantidades de leite, sem alterações nas suas concentrações de gordura e proteína. A silagem de sorgo anão-soja apresenta melhor valor nutricional que a silagem de sorgo gigante-feijão, e sua utilização, para alimentação de vacas, proporcionam aumento na produção de leite, sem comprometer a composição, além de manter o ganho de peso diário positivo.

Palavras-chave: composição do leite, estabilidade aeróbia, feijão, produção de leite, soja

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the quality of silages produced with sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) associated to legumes and verify the productive performance and the milk quality of lactating dairy cows, fed diets based these silages. Treatments consisted of two mixed silage, made from dwarf sorghum (cv. Surgo) intercropped with soybean (*Glycine max* L.) and sorghum giant (cv. Sweet Virginia BMR) with bean (*Phaseolus coccineus* L.), cultivated in an area of 3.5 ha each, divided into three replications. In animal performance study, it was used 12 multiparous Prim'Holstein cows (PO), grouped into two lots of six animals, based on days in milk, lactation number and milk production. The experimental period was 21 days of adaptation and two experimental periods of 21 days each, plus a post-experimental period of 15 days. Data were analyzed using SAS software, through a completely randomized design, for silage, and cross-over design, for the cows performance data. There was better productivity in dwarf sorghum-soybean consortium (4.19 t DM ha⁻¹). The forage of giant sorghum-bean showed higher levels of CP and NDIN and lower NDF and ADF concentrations that dwarf soybean forage sorghum, however, without differences (P> 0.05) in IVDMD values. On the other hand, dwarf sorghum-soybean silage showed better (P <0.05) chemical composition and DM digestibility that giant sorghum- bean silage. There were higher loss of organic matter during the fermentation process in dwarf sorghum-soybean silage (12.41%), however, this silage showed greater aerobic stability. It was observed that cows fed diets with dwarf sorghum-soybean silage had higher dry matter intake of total ration, as well, produced more milk, without changes in their fat and protein concentrations. The dwarf sorghum-soybean silage has better nutritional value that giant sorghum-bean silage, and its use, for feeding cows, increased milk production, without compromising the milk composition, in addition to maintaining the positive daily weight gain.

Key words: aerobic stability, bean, milk composition, milk production, soybean

Introdução

O interesse na cultura de sorgo (*Sorghum spp.*) tem ganhado grande importância no contexto atual de produção agrícola sustentável, em que a busca por plantas mais adaptadas às condições ambientais, determinadas pelas mudanças climáticas se tornou algo fundamental. Neste cenário, o sorgo se destaca por apresentar boa adaptação às adversidades ambientais, suportando os efeitos de déficit hídrico (BORRELL; HAMMER, 2000) e flutuações de temperatura (SREE et al., 1999). Estas características, aliado à maturidade precoce, favorecem o cultivo em solos marginais (NAHAR, 2011), além de proporcionar produção de forragem com valores nutricionais comparados ao milho, permitindo a obtenção de bons índices zootécnicos (EMILE et al., 2009).

Com o desenvolvimento de cultivares contendo o gene BMR (brown midrib), o sorgo teve o valor nutricional melhorado, apresentando menores concentrações de lignina e maior digestibilidade (OLIVER et al., 2005). Isso possibilita a sua utilização em substituição ao milho, sem diminuir o desempenho produtivo do rebanho (DANN et al., 2008). Porém, segundo Pimentel et al. (2013), apesar de apresentar um conteúdo energético razoável, a silagem de sorgo apresenta níveis de proteínas inferiores aos requeridos para o bom desempenho produtivo de vacas leiteiras. Em relação à silagem de milho, os teores de proteína em alguns sorgos permanecem baixos, o que pode ser agravado com o processo de ensilagem, pelas perdas nos processos fermentativos.

Neste sentido, o consórcio do sorgo com leguminosas tem demonstrado ser uma alternativa para aumentar o teor de proteína bruta da silagem e seu valor nutricional, enriquecendo-a ainda com maiores teores de cálcio e fósforo, presentes nas leguminosas (BAXTER et al., 1984). Entretanto, a proporção de leguminosa na massa de forragem a ser ensilada deve ser considerada, em razão das alterações no padrão de fermentação da silagem. Segundo Jobim et al. (2008), grandes quantidades de leguminosa pode resultar em complicações no processo fermentativo e comprometer a qualidade final da silagem, pela baixa ensilabilidade que apresentam, resultante dos baixos teores de carboidratos solúveis (CHOs) e de matéria seca (MS), associado à alta capacidade tampão (CT).

De acordo com Juntanam et al. (2013), silagens de sorgo com altos valores nutritivos podem ser obtidas pela associação do sorgo a uma leguminosa forrageira, possibilitando o aumento da produção de leite e maior ganho de peso vivo (GPV). Da mesma forma, Ngongoni et al. (2008) observaram que o aumento nas concentrações de proteína de silagens mistas de sorgo com *Lablab purpureus* resultou em maiores ingestão de matéria seca (IMS) e ganho de peso vivo em ovinos. Estes parâmetros, associado à maior produção leiteira, também foram constatados por Prasanpanich et al. (2010), em estudo com vacas Holandês múltiparas.

Outras leguminosas passíveis de cultivo em associação com o sorgo são as culturas de soja (*Glycine max*) e de feijão (*Phaseolus spp.*), que se destacam pela alta produtividade, altos teores de proteína e ciclo produtivo que possibilita seu consórcio com sorgo. Além de proporcionar aumento nos teores de proteína na forragem (CONTRERAS-GOVEA et al., 2009; ARSHAD; RANAMUKHAARACHCHI, 2012; KOTEN et al., 2013), caracterizando esta consorciação como uma boa alternativa para a obtenção de silagens de alta qualidade. Segundo Martin et al. (1983), a inclusão de até 40% de soja ao milho aumentou os

teores de proteína na ordem de 47% e não resultou em problemas fermentativos, não verificando aumento significativo no pH e na concentração de nitrogênio amoniacal das silagens. Zago et al. (1984) observaram, em vacas leiteiras, aumento na ingestão de MS (22,71%) e na produção de leite (15,38%), quando do uso de silagem de milho+soja, em relação à silagem exclusiva de milho.

Devido às escassas investigações sobre o potencial de produção de forragem, qualidade da silagem e, principalmente, resposta animal com culturas de sorgos consorciadas com leguminosas, objetivou-se avaliar associações entre sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão para produção de silagem, bem como o desempenho de vacas em lactação alimentadas com dietas à base destas silagens.

Material e Métodos

Produção e qualidade das silagens

O experimento foi conduzido na Unité Expérimentale Fourrages et Environnement do INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, Centro de Pesquisas de Poitou-Charentes, localizada em Lusignan (Vienne, França – 15° Leste, 45°26' Norte).

Avaliaram-se duas silagens produto de culturas associadas entre sorgo granífero anão (*Sorghum bicolor* L. cv. Surgo) com soja (*Glycine max* L. Merrill var. Mitsuko) e de sorgo granífero gigante sacarino (*Sorghum bicolor* L. cv. Sweet virginia BMR) com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L. var. Neckargold). As culturas foram implantadas no final da primavera de 2013, no dia 07 de junho, em uma área de 3,5 ha para cada associação sorgo-leguminosa, divididas em três repetições. A densidade de plantio foi de 20 sementes/m² para o sorgo e 15 sementes/m² para as leguminosas, distribuídas entre linhas distando 15 cm sorgo-leguminosa, e conduzidas em condições similares, quanto ao manejo da lavoura.

Decorridos dois meses da implantação, estimou-se a quantidade de plantas invasoras/m² para cada tratamento, atribuindo um índice classificatório de 1 a 7, adaptado do protocolo Rés0Pest (CELLIER et al., 2014), em que: 1= 0-1 pl/m²; 2 = 1-3 pl/m²; 3 = 3-20 pl/m²; 4 = 20-50 pl/m²; 5 = 50-100 pl/m²; 6 = 100-500 pl/m² e 7 = >500 pl/m², bem como uma nota visual global, visando abranger toda a dimensão de cada parcela, quanto à cobertura do solo. Aos quatro meses de implantação das culturas, com o auxílio de um quadro (0,6 x 0,6 m), disposto aleatoriamente em 16 pontos diferentes da área de cultivo para cada associação, estimou-se a frequência das plantas invasoras e após, fez-se a coleta da plantas dentro do quadro, cortando a 15 cm de altura do solo. O material recolhido foi levado à estufa para secagem e posterior pesagem, a fim de determinar a produção de matéria seca (MS) das invasoras. No dia seguinte, foram determinadas as populações dos sorgos e de leguminosas em cada associação, utilizando-se de uma régua de 2 m lineares, disposta em 16 pontos diferentes/associação.

As culturas das áreas de sorgo anão e sorgo gigante foram colhidos após 4,5 e 5,5 meses do estabelecimento, respectivamente, com base na maturidade dos grãos. A colheita foi realizada com corte a 15 cm do nível do solo, utilizando-se uma ensiladeira automotriz John Deere (Modelo 5730, Moline, Illinois, USA) com plataforma de discos rotativos. Após o corte, todos os carregamentos do material a ser ensilado foram pesados em balança Precia Molen (Modelo x241-TG 349898, Privas, Rhône-Alpes, France), obtendo-se a produção de MS total para cada associação sorgo-leguminosa. As silagens foram armazenadas em silos,

tipo bunker (1 silo de 216 m³ para cada associação), sendo a compactação realizada com o auxílio de trator JCB (Modelo TM270, Rocester, Staffordshire, United Kingdom). Imediatamente após o carregamento e compactação, os silos foram vedados com filme plástico transparente de 45µ e protegidos por cobertura de lona em tecido de polipropileno Silostop (London, England). Durante a etapa de carregamento dos silos, coletaram-se amostras em três momentos diferentes (início, meio e fim do carregamento), com três repetições em cada momento, as quais foram encaminhadas à estufa para secagem e análise da composição químico-bromatológica. Esse procedimento teve como objetivo determinar a composição da forragem no momento da ensilagem, bem como estimar as perdas de matéria orgânica (MOp) decorrentes dos processos fermentativos, seguindo o princípio proposto por Ashbell e Weinberg (1992), com utilização da equação:

$$\text{MOp (\%)} = [1 - (\text{CF} \times \text{MOS}) / (\text{CS} \times \text{MOFF})] \times 100,$$

em que:

MOp = porcentagem de matéria orgânica perdida;

CF = porcentagem de cinza na forragem fresca;

CS = porcentagem de cinza na silagem;

MOFF = porcentagem de matéria orgânica na forragem fresca;

MOS = porcentagem de matéria orgânica na silagem.

Os silos foram abertos 60 dias após a ensilagem, sendo retirada e desprezada a camada inicial do painel, na qual a deterioração do material foi evidente. Após, realizaram-se amostragens das silagens, e as amostras foram levadas ao laboratório para determinar os principais componentes químicos (Tabela 1), visando caracterizar o volumoso para composição das dietas.

Para as características das silagens, avaliou-se a densidade (DE), utilizando-se de um cilindro de aço com bordas serrilhada, com dimensões de 40 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, acoplado à furadeira elétrica Bosch (Modelo 7500W, Gerlingen, Baden-Württemberg, Germany). Para determinar a DE, a massa da silagem foi retirada pelo cilindro em nove pontos no painel de cada silo, sendo considerados os estratos basal, medial e superior com três repetições em cada. Na sequência, as amostras coletadas foram pré-secadas em estufa de circulação forçada de ar e utilizadas para determinação do tamanho médio de partículas (TMP), segundo a metodologia de Melcion (2000), utilizando separador de partículas Retsch (Modelo digit-Retsch AS200, Haan, Nordrhein-Westfalen, Germany) com modificação do conjunto de peneiras utilizado, quanto aos diâmetros das malhas. A metodologia consistiu no uso de uma amostra de 30 g de silagem pré-seca, submetida a movimentos vibratórios de 40 nanômetros de intensidade em um conjunto de sete peneiras, dispostas em ordem decrescente em relação ao diâmetro do crivo (19,0; 8,0; 5,0; 3,6; 2,8; 1,8 e <1,8 mm), durante 5 min, a fim de se obter as frações retidas em cada peneira e determinar a distribuição granulométrica, bem como o tamanho médio de partículas. Foram realizadas cinco repetições para cada silagem.

Durante a utilização das silagens na alimentação das vacas, foram coletadas cinco amostras de aproximadamente 5 kg, em pontos diferentes para cada silo (tratamento), e dispostas em caixas plásticas, as quais foram mantidas em galpão fechado sem controle das variáveis ambientais, para determinação da estabilidade aeróbia. A estabilidade aeróbia foi avaliada durante uma semana, por meio de mensuração da

temperatura das silagens e do ambiente e valores de pH. As temperaturas foram medidas duas vezes ao dia (9h00 e 17h00), com uso de termômetro digital Hanna (Modelo HI98509 Checktemp® 1, Ann Arbor, Michigan, USA). Os valores de pH, do extrato aquoso das silagens, foram verificados uma vez por dia (17h00), pelo método do potenciômetro (KUNG Jr. et al., 1984). Diariamente, durante a primeira mensuração da temperatura, coletaram-se subamostras das silagens expostas ao ar, para determinação dos teores de cinzas e estimação das perdas diárias de matéria orgânica (MOp) em aerobiose, conforme a equação descrita anteriormente para perdas de MO.

Durante o período de alimentação das vacas, foram realizadas amostras diárias das silagens distribuídas, sendo agrupadas ao final de cada período em uma amostra composta. Após, estas foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 h, e trituradas em moinho tipo martelo com peneira de crivo de 1 mm, sendo armazenadas em potes plásticos para posterior análise químico-bromatológica.

Animais e manejo

Para avaliação do desempenho das vacas em lactação, foram utilizadas 12 vacas multíparas da raça Prim'Holstein (PO), agrupadas em dois lotes de seis animais, considerando os critérios de peso corporal (média de $653,8 \pm 50,8$ kg), período de lactação (valor médio no início do experimento = 62 ± 20 dias) e a produção média diária de leite, observadas durante dez dias ($31,8 \pm 4,4$ kg vaca⁻¹ dia⁻¹), antes do período de adaptação. O experimento para avaliação do desempenho animal foi realizado durante 85 dias (dezembro de 2013 a fevereiro de 2014), sendo 21 dias de adaptação, dois períodos experimentais de 21 dias cada, acrescido de um período pós-experimental de 15 dias, este último, usado para acompanhamento dos animais, objetivando observar se voltariam ao estado inicial padrão, sem a ocorrência de possíveis mudanças comportamentais e/ou fisiológicas nos animais (efeitos residuais pelos tratamentos). Os períodos experimentais foram intercalados por um período *wash-out* de sete dias.

Os animais foram pesados no início do experimento e ao final de cada período. As pesagens foram realizadas após a ordenha da manhã, durante dois dias consecutivos, sendo os valores corrigidos, segundo o método de Chilliard et al. (1987), para as variações de conteúdo digestivo: $PCc = PC - (4 \times MSI)$; PCc = peso corporal corrigido (kg); PC = peso corporal bruto (kg); MSI = matéria seca ingerida (kg). Os animais foram identificados com colares eletrônicos (sistema "Calan gate"), para controle do acesso aos comedouros.

Os tratamentos (Tabela 1) foram constituídos de silagens de sorgo granífero gigante sacarino associado ao feijão de rama e de sorgo granífero anão associado a soja, fornecidas à vontade (sobra de 10%), com dois concentrados comerciais, um de equilíbrio energia/nitrogênio (Dolci mais – 2 kg dia⁻¹) e outro de produção (Dolci 2,5 HE – 4 kg dia⁻¹), fornecidos de acordo com a produção média de leite de referência para cada animal. Considerando-se que ocorreu redução de 2,0 a 2,5% por semana na persistência da produção leiteira de vacas multíparas (EMILE; BARRIÈRE, 1992). As vacas receberam 50 g de ureia dia⁻¹ e 150 g dia⁻¹ de bicarbonato de sódio (NaHCO₃), além de 50 g dia⁻¹ de um complexo mineral-vitamínico (Poitouaine® 9-20-5) e acesso livre à suplementação mineral disponível na forma de blocos com 12 kg.

O concentrado de produção (Dolci 2,5 HE) foi distribuído duas vezes ao dia, 50% após a primeira ordenha (7h30) e 50% após a segunda ordenha (16h30).

Tabela 1. Composição das dietas utilizadas para a alimentação das vacas em lactação

Item	Silagens		Concentrados		Suplementos	
	[§] Sorgo-soja	[§] Sorgo-feijão	Dolci Maïs	Dolci 2,5 HE	Poit. 9-20-5	Mineral (bloco)
¹ Quantidade (kg/dia)	<i>Ad libitum</i>	<i>Ad libitum</i>	2	4	0,05	<i>Ad libitum</i>
MS, g/kg MN	402,0	336,2	895,9	873,4	-	-
MM, g/kg MS	62,6	68,5	91,0	63,0	-	-
*PB, g/kg MS	73,3	70,8	440,0	180,0	-	-
EE, g/kg MS	-	-	30,0	29,0	-	-
Celulose, g/kg MS	430,8	379,5	96,0	72,0	-	-
DMO, g/kg MS	610,0	600,0	-	-	-	-
EL _L , Mcal/kg MS	1,4	1,3	-	-	-	-
Vitaminas e minerais						
vitamina A, UI/kg	-	-	-	8.760,0	500.000,0	-
vitamina D3, UI/kg	-	-	-	1.760,0	100.000,0	-
vitamina E, UI/kg	-	-	-	1,0	1.000,0	-
P, g/kg	-	-	-	-	90,0	-
Ca, g/kg	-	-	-	-	200,0	130,0
Mg, g/kg	-	-	-	-	50,0	30,0
[#] Na, g/kg	-	-	3,0	3,8	-	180,0
Fe, mg/kg	-	-	322,5	190,1	1.500,0	-
Mn, mg/kg	-	-	193,5	76,8	4.000,0	8.000,0
Zn, mg/kg	-	-	129,0	58,1	5.500,0	10.000,0
Cu, mg/kg	-	-	-	4,5	1.300,0	1.500,0
I, mg/kg	-	-	-	-	85,0	85,0
Co, mg/kg	-	-	-	-	30,0	30,0
Se, mg/kg	-	-	-	-	20,0	20,0

[§]Análises realizadas pelo LABCO, Surgères-FR; *Não contabilizado a adição das 50 g de ureia; [#]Não contabilizadas as 150 g de bicarbonato de sódio. ¹Razão volumoso: concentrado observada = 74:26 (sorgo-soja) e 71:29 (sorgo-feijão).

O consumo da ração foi obtido por meio de pesagens diárias, durante os 12 últimos dias de cada período experimental, da quantidade fornecida e das sobras para cada animal. As estimativas da composição química do consumido e das rações foram obtidas pela realização de amostragens diárias das silagens, das sobras e dos concentrados. Ao final de cada período, as amostras de silagens e sobras foram agrupadas para formação de uma amostra composta por período e por animal. As amostras dos concentrados utilizados para equilibrar as rações foram obtidas uma vez em cada período, depois reagrupadas no final do experimento para formação de uma amostra representativa de todo o período experimental. Todas as amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 h, e após, trituradas em moinho, tipo martelo com peneira de crivo de 1 mm, armazenadas em potes plásticos e enviados ao laboratório da URP3F, INRA Poitou-Charentes - França, para as análises químico-bromatológicas.

Foram avaliados os teores de matéria seca (MS) e matéria mineral (MM) segundo a AOAC (1997). Uma subamostra foi processada em moinho de bola, para obtenção da granulometria de 0,5 mm e analisadas

para carbono orgânico e nitrogênio total pelo método de combustão a seco, com uso de cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa, seguindo o princípio de Dumas (1831). A determinação da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e lignina foram obtidos de acordo com Van Soest et al. (1991). Os valores de PB, proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) foram calculadas pela multiplicação dos valores de nitrogênio, NIDA e NIDN por 6,25. As concentrações de carbono orgânico insolúvel em detergente neutro (COIDN) e carbono orgânico insolúvel em detergente ácido (COIDA) foram obtidas pela determinação de carbono orgânico nos resíduos da FDN e FDA, respectivamente. A determinação do conteúdo carboidratos solúveis (CHOs) foi realizada com uso do aparelho NIRS (NIRSystems, Inc., Silver Spring, Maryland, USA). A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi obtida pelo método enzimático, descrito por Aufrère (1982), com uso do equipamento Daisy II (ANKOM technology, Macedon, New York, USA).

Avaliou-se o comportamento ingestivo das rações, por meio da observação de cada animal, imediatamente após o acesso ao comedouro, observando-se concomitantemente, por um período de 2 h, com anotações a cada 5 min. Observaram-se, ainda, os parâmetros de consumo de água, micção, defecação, ócio, descanso deitado e ruminação. Esta avaliação foi realizada uma vez por período, durante a última semana.

Para a determinação da produção de leite, registraram-se as produções individuais a cada ordenha (7h30min e 16h30min) com o auxílio de coletores volumétricos ligados a um sistema informatizado de ordenha. A determinação dos teores de proteína e de gordura do leite foi obtida por análise em infravermelho, com uso do MilkoScanTM (FOSS, Hillerød, Frederiksborg, Denmark), sendo coletadas amostras durante quatro ordenhas consecutivas no início da última semana de cada período, as quais foram encaminhadas ao Laboratório Interprofissional Leiteiro do Centro-oeste (LILCO), Surgères - França. A correção da gordura do leite para 4% foi calculada, segundo o NRC (2001). O teor de ureia no leite foi determinado de acordo com Godden et al. (2003), pela utilização do método AZOTEST. O N-ureico foi obtido pela multiplicação dos níveis de ureia pelo fator 0,4667.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e os valores de estabilidade aeróbia das silagens submetida à análise de regressão, utilizando o programa estatístico SAS (2009). As diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste F ($P < 0,05$), utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado para as variáveis referentes às forragens e silagens.

Os dados de desempenho animal e composição do leite foram analisados por meio do delineamento *cross-over*, pelo seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijks} = \mu + s + s(j) + P_k + T_i + X_{ij} + k r + ijk$$

em que: Y_{ijks} = variável resposta do i -ésimo tratamento, na j -ésima vaca, no k -ésimo período, na s -ésima sequência; μ = média geral; s = efeito da s -ésima sequência; $s(j)$ = efeito aleatório pela vaca “ j ”, com $j = 1$ a 6 (6 sendo o número total de vacas na sequência s); P_k : é o efeito do período “ k ”, com $k = 1$ a 2; T_i : é o efeito do tratamento “ i ”, com $i = 1$ (silagem de sorgo anão-soja) e 2 (silagem de sorgo gigante-feijão); r = coeficiente de regressão linear indicando a dependência de Y_{ij} em X_{ij} (assume-se que a verdadeira relação entre Y_{ij} e X_{ij} é linear, e que os coeficientes de regressão para cada tratamento são idênticos, que os efeitos

de tratamentos somam 0 e que a co-variável X_{ij} não é afetada pelo tratamento); r = efeito carry-over pelo tratamento r ter sido aplicado no período anterior, k é um indicador variável, cujo valor é zero no primeiro período e 1 no segundo período; ijk : é o erro experimental $\sim N(0, \sigma^2)$.

Resultados e Discussão

Produção e qualidade das silagens

As produções estimadas de MS da forragem diferiram ($P < 0,05$) entre os consórcios, apresentando superioridade para o sorgo anão associado à soja em relação ao sorgo gigante com feijão (4,19 vs 2,77 t MS ha^{-1}). Ambas as produções foram inferiores às constatadas por Da Silva et al. (2014), que observaram, em condições semelhantes de cultivo, produções de 16,7 e 10,8 t MS ha^{-1} para o sorgo anão mais soja e sorgo gigante mais feijão, respectivamente. Valores superiores também foram relatados em outros experimentos (AYUB e SHOAIB, 2009; AHMAD et al., 2007). Esta baixa produção de MS se deve à forte redução no número de plantas estabelecidas, pelo ataque de pássaros (corvo), os quais se alimentaram das sementes após o semeio, mesmo com a instalação de canhões pneumáticos e espantalhos na área experimental. Observando-se as reduções no número de plantas, com maior intensidade, para a cultura do sorgo, em que, das 200.000 sementes ha^{-1} semeadas, a população média de plantas estabelecidas foi de apenas 80.128 e 86.372 plantas ha^{-1} , para o sorgo anão e gigante, respectivamente. Para a cultura das leguminosas, as reduções no número de plantas previstas ocorreram na mesma proporção ($P > 0,05$) entre soja e feijão, verificando-se populações de 117.591 e 115.509 plantas ha^{-1} , respectivamente, porém, não sendo esta redução atribuída ao ataque de pássaros, mas, provavelmente ao menor potencial de estabelecimento das leguminosas quando em associação com gramínea, que ocorre em virtude da competição interespecífica pela radiação solar, nutrientes e água (VAN SOEST, 1994; JAVANMARD et al., 2009).

Além dos fatores supracitados, observou-se ineficiência do controle de plantas indesejáveis, ocasionando alto desenvolvimento de invasoras, constatados pela classificação das áreas experimentais quanto ao RésOPest. Verificou-se que ambos os tratamentos não diferiram quanto à classe, sendo incluídos na classe 5 (50 a 100 plantas invasoras m^{-2}). Da mesma forma, não houve diferença ($P > 0,05$) com a estimação por meio da técnica do quadrado, quatro meses após o RésOPest, observando-se população média de 812.500 plantas ha^{-1} , com potencial médio de produção de 5,21 t MS ha^{-1} (Tabela 2).

Tabela 2. População, cobertura do solo e produção de matéria seca das plantas invasoras nas diferentes associações sorgo-leguminosa

Item	Sorgo anão + soja	Sorgo gigante + feijão	*EPM
Classe (RésOPest)	5	5	-
Cobertura do solo/Nota visual	7,0 ^b	7,5 ^a	-
Plantas invasoras ha^{-1}	814.236	810.764	71,41
Produção, kg MS ha^{-1}	4.991	5.431	0,28

Médias na mesma linha, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$); *EPM = erro-padrão da média.

Observou-se diferença ($P < 0,05$) para a estimativa de cobertura do solo, com superioridade no consórcio sorgo gigante e feijão (Tabela 2), o que pode ser explicado pela maior quantidade ($P > 0,05$) de plantas da espécie *Echinochloa crus-galli* (capim-arroz), que pode apresentar crescimento decumbente, com enraizamento a partir dos nós em contato com o solo (CONCENÇO, 2008), ocasionando maior cobertura do solo.

Verificou-se diferença significativa para os teores de MS na forragem no momento da ensilagem (Tabela 3), com superioridade na associação sorgo gigante-feijão em relação ao sorgo anão-soja (380,86 vs 304,84 g kg⁻¹ MN). Já as concentrações de MS das silagens diferiram ($P < 0,05$) entre as associações, sendo menor na silagem de sorgo gigante-feijão, com valor de 279,8 g kg⁻¹ MN (Tabela 3), estando abaixo do limite mínimo indicado por Fahey Jr. et al. (1994). Estes autores afirmam que silagens com menos de 300 g kg⁻¹ MS na MN, podem apresentar altas produções de efluentes e fermentação por bactérias do gênero *Clostridium*, resultando em perdas apreciáveis em compostos solúveis como nitrogênio solúvel, açúcar, produtos de fermentação e minerais. Como consequência, as perdas de efluentes resultam em significativa redução de nutrientes digestíveis, bem como, representa um perigo potencial para o ambiente, se não tratado corretamente (MUCK; SHINNERS, 2001).

Tabela 3. Valores de pH e composição química da forragem verde e das silagens de sorgo anão-soja (SAS) e sorgo gigante-feijão (SGF), expressos em g kg⁻¹ MS

Variáveis	Forragem verde			Silagem		
	SAS	SGF	*EPM	SAS	SGF	*EPM
pH	-	-	-	4,21	4,12	0,01
#MS	304,84 ^b	380,86 ^a	6,78	281,1 ^a	279,8 ^b	0,15
MM	68,24	70,05	0,76	77,17 ^a	74,57 ^b	0,40
PB	61,04 ^b	86,54 ^a	2,36	80,42 ^a	60,50 ^b	2,26
NIDN	1,80 ^b	2,12 ^a	0,05	1,87 ^a	1,43 ^b	0,05
NIDA	0,63	0,71	0,04	0,64	0,65	0,03
NIDA/N-total	0,064 ^a	0,051 ^b	0,003	0,049 ^b	0,067 ^a	0,002
CHOs	121,51 ^a	112,15 ^b	1,41	99,35 ^a	48,95 ^b	5,05
FDN	615,77 ^a	565,05 ^b	5,02	594,07 ^b	623,57 ^a	5,35
FDA	367,76 ^a	351,34 ^b	2,13	366,15 ^b	384,66 ^a	3,43
Lignina	49,16 ^b	63,43 ^a	1,47	60,36	60,18	0,72
COT	433,33 ^b	444,19 ^a	1,02	441,90 ^a	436,50 ^b	0,57
COIDN	281,01 ^a	260,40 ^b	2,10	270,78 ^b	283,91 ^a	2,56
COIDA	165,27 ^a	161,43 ^b	0,83	166,21 ^b	173,72 ^a	1,48
DIVMS	555,48	557,40	2,60	538,84 ^a	517,11 ^b	5,11

Médias na mesma linha, seguidas de letras desiguais, diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$), dentro de sua categoria (forragem ou silagem); #MS = expresso em g kg⁻¹ MN; *EPM = erro-padrão da média.

Valores de MS superiores aos das silagens deste estudo foram observados por Colombini et al. (2012) em silagens de sorgo granífero e forrageiro quando em cultivo singular. Da mesma forma, Emile et al. (2006) observaram, em silagens de sorgo granífero e sorgo granífero sacarino, valores de MS de 332 e 311 g kg⁻¹ MN, apresentando boas características nutricionais para alimentação de vacas leiteiras.

As concentrações de MS nas silagens reduziram na ordem de 23,74 e 101,06 g kg⁻¹ MN, em relação à forragem verde, para os tratamentos sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão, respectivamente. Esse resultado pode ser pelo processo de fermentação, uma vez que a água pode ser liberada em diferentes rotas metabólicas, pela ação de enzimas da planta ou atividade de microrganismos.

Apesar da maior redução no teor de MS na silagem de sorgo gigante-feijão, as perdas de matéria orgânica (MOp) foram superiores nas silagens de sorgo anão-soja (12,41 vs 6,5%), observado em função do aumento nos teores de MM entre a forragem fresca e a silagem. No momento da ensilagem, não houve diferença ($P>0,05$) para as concentrações de MM entre as culturas, contudo, verificou-se maior concentração de MM ($P<0,05$) nas silagens de sorgo anão-soja em relação à silagem de sorgo gigante-feijão, com valores de 77,17 e 74,57 g kg⁻¹ MS, respectivamente (Tabela 3). O menor teor de cinzas é indicativo de melhor conservação da forragem, pois, a ocorrência de uma fermentação inadequada resulta em perdas de MO, aumentando a participação relativa da MM na MS.

No momento da ensilagem, as forragens de sorgo gigante-feijão apresentaram os maiores teores de PB em relação ao sorgo anão-soja (86,54 vs 61,04 g kg⁻¹ MS), valores abaixo dos constatados por Nascimento et al. (2008) em sorgos sacarino e granífero em sistema de monocultivo (106,7 e 85,6 g kg⁻¹ MS, respectivamente). Em culturas de sorgo associada ao feijão caupi e ao guar, conduzidos em espaçamentos semelhantes ao deste experimento, as concentrações de PB foram de 136 e 134 g kg⁻¹ MS, constatando-se aumento na PB da forragem de 107,71 g kg⁻¹ quando do consórcio entre sorgo e leguminosa (AKHATAR et al. (2013).

Da Silva et al. (2014) observaram comportamento semelhante, com maiores concentrações de PB na forragem de sorgo gigante-feijão (75 g kg⁻¹ de MS), em relação ao sorgo anão-soja (66 g kg⁻¹ de MS), conduzidos em condições semelhantes de cultivo. Estas diferenças podem ter ocorrido, possivelmente, em função da melhor eficiência no “controle natural” das plantas invasoras, pelas culturas de sorgo gigante-feijão, pelo maior potencial de crescimento e melhor competitividade pelos recursos disponíveis no ambiente.

Na silagem, observou-se inversão nas concentrações de PB em relação à forragem fresca, com maiores valores ($P<0,05$) para a silagem de sorgo anão soja, que apresentou 80,42 g kg⁻¹ MS, superior em 31,74% dos valores de PB quando da sua ensilagem (Tabela 3). Este aumento na concentração de PB pode ser explicado, em parte, pela efetiva utilização de CHOs, o que pode ser fundamentado pela alta correlação negativa entre a variável CHOs em função dos teores de PB ($r = -0,94$; $P<0,0001$). Outro fator importante, que pode ter ocorrido, foi a redução dos processos de fermentação secundária. Nas silagens de sorgo gigante-feijão, ocorreu o inverso, observando-se expressiva redução na concentração de PB, o que pode ser indicativo da forte ocorrência de fermentação secundária. Este tipo de fermentação resulta da atividade de enterobactérias e clostrídios que fermentam carboidratos e proteínas, com consequente produção de amônia (NH₃) e ácidos orgânicos (PAHLOW et al., 2003). Os mesmos autores relatam que, frequentemente, a população de enterobactérias presente nas forragens é 100 vezes maior que a população de bactéria ácido láctica (BAL) e esta proporção aumenta em condições adversas de temperatura, pela maior resistência às baixas temperaturas e ao período seco do inverno, quando foram observadas mais que 1.000 ufc.g⁻¹ de

enterobactérias, enquanto as BAL só foram identificadas em temperaturas superiores e 10°C. Neste sentido, observaram-se condições favoráveis à alta concentração de enterobactérias durante o período de ensilagem da cultura de sorgo gigante-feijão em relação ao período de ensilagem do sorgo anão-soja, com temperaturas de 7,3 e 14,2°C, respectivamente.

Contudo, observou-se que os valores de PB nas silagens se encontram próximos aos relatados por Pimentel et al. (2013) em silagens de sorgo puro (79 a 85 g PB kg⁻¹ MS), mantendo-se abaixo do resultado obtido por Lima et al. (2010) em silagem mista de sorgo var. CIAP 2E-95 com inclusão de 40% de soja, que apresentaram valores de PB igual a 91 g kg⁻¹ MS. Maiores diferenças foram observadas em silagens mistas de sorgo com soja avaliadas por Paula et al. (2009), sendo relatados aumentos lineares nos teores de PB com a inclusão de soja, com obtenção de 149,5 g kg⁻¹ MS quando do menor nível de inclusão (33% da MN).

Como reflexo das variações nas concentrações de PB, observou-se o mesmo comportamento nos teores de NIDN e NIDA, nas forragens verdes e nas silagens. Constatou-se maior razão NIDA/N-total para a forragem verde de sorgo anão-soja e para a silagem de sorgo gigante-feijão, demonstrando o maior potencial de disponibilização da PB nas silagens do sorgo anão associado à soja.

Para os carboidratos estruturais (Tabela 3), observou-se maior concentração de FDN e FDA na forragem de sorgo anão-soja em relação ao sorgo gigante-feijão, o que provavelmente ocorreu pelos maiores teores presentes no sorgo anão, conforme verificado por Da Silva et al. (2014). Altas concentrações de lignina foram constatadas na forragem do sorgo gigante-feijão com valor de 63,43 g kg⁻¹ MS. Isso evidencia a alta concentração de lignina na cultura do feijão em relação à soja, uma vez que o sorgo gigante apresenta o gene bmr (brown midrib) que lhe confere a característica de baixo teor de lignina e fibras de melhor qualidade (OLIVER et al., 2005). Em geral, as leguminosas apresentam valores de FDN e FDA menores que as gramíneas, pelo menor conteúdo de celulose e hemicelulose, porém, sua parede celular é menos digestível, por ser constituída com maior quantidade de lignina, presentes em maiores proporções nos caules (NGONGONI et al., 2008; PAULA et al., 2009 e ARSHAD, 2012).

Nas silagens, observou-se maior valor de FDN e FDA para o sorgo gigante-feijão e redução de suas concentrações para o sorgo anão-soja, o que pode ter ocorrido em função da dinâmica de utilização dos substratos para fermentação em cada massa ensilada. Assim, a principal fonte de energia utilizada no processo fermentativo da silagem de sorgo anão-soja foi carboidratos solúveis, enquanto na silagem de sorgo gigante-feijão, houve atividade fermentativa relevante de compostos nitrogenados, o que se pode verificar pela elevada redução dos teores de PB na silagem. O maior teor de FDA na silagem de sorgo gigante-feijão sugere a menor contribuição da soja, em relação ao feijão, nos níveis de celulose, visto que não foram observadas diferenças (P<0,05) nos teores de lignina entre as duas silagens, constatando-se aumento da lignina, em termos proporcionais, na silagem com soja, em relação a sua forragem.

As concentrações de FDN observadas podem ser um fator limitante de consumo pelos animais, por se encontrarem acima das margens preconizadas por Mertens (1992) e Van Soest (1994), os quais sugerem que níveis de FDN superiores a 500-550 g kg⁻¹ MS influencia negativamente o consumo, caracterizando fator limitante da ingestão e conseqüentemente do consumo de energia. No entanto, os valores de FDA estão

adequados ao preconizado por Nussio et al. (1998), que relataram baixo consumo e digestibilidade em forragens com FDA superiores a 400 g kg⁻¹ de MS.

Nascimento et al. (2008) observaram, em silagens de sorgo granífero e sacarino, valores inferiores de FDN, FDA e lignina as encontradas neste experimento, com valores médios para os dois híbridos de 509,9; 258,4 e 32,85 g kg⁻¹ MS, respectivamente, o que pode ser atribuído a diferença na cultivar utilizada. No entanto, em pesquisas com as mesmas cultivares de sorgo utilizadas neste estudo, Emile et al. (2009) verificaram menores concentrações de FDN e lignina, com teores de 580 e 39 g kg⁻¹ MS e 600 e 22 g kg⁻¹ MS, para as silagens de sorgo anão e gigante, respectivamente. Valores de FDA e lignina, mais próximos aos deste experimento, foram relatados por Paula et al. (2009), em silagens mistas de sorgo com 33% de soja (357 e 58 g kg⁻¹ MS, respectivamente). Do mesmo modo, Ngongoni et al. (2008) verificaram concentrações semelhantes de FDN e FDA, quando da inclusão de 20% de lablab na silagem mista com sorgo (681 e 384 g kg⁻¹ MS, respectivamente). Estes dados sugerem que as leguminosas contribuem para o aumento nas concentrações de FDN, FDA e lignina nas silagens.

A forragem de sorgo anão-soja apresentou menor concentração (P<0,05) de carbono orgânico total (COT) que a forragem de sorgo gigante-feijão (Tabela 3), porém, apresentando maiores teores de carbono orgânico insolúvel em detergente neutro (COIDN) e de carbono orgânico insolúvel em detergente ácido (COIDA). Os teores de COIDN e COIDA apresentaram correlações negativas com a DIVMS (r = -0,35; P<0,05 e r = -0,67; P<0,0001, respectivamente), sem refletirem diretamente sobre os valores desta, por serem coeficientes de correlação considerado fraco (COIDN) e moderado (COIDA).

Para a silagem, observou-se comportamento inverso, com menores concentrações (P<0,05) de COIDN e COIDA na silagem sorgo anão-soja, o que pode ter ocorrido em função das variações nos teores de FDN e FDA, quando do processo de fermentação.

Nas forragens, a DIVMS não diferiu (P>0,05) entre as culturas ensiladas, com digestibilidade média de 556,44 g kg⁻¹. Porém, pelas alterações nas concentrações de alguns constituintes da forragem, durante o período de fermentação da massa ensilada, verificou-se maior digestibilidade (P<0,05) da silagem de sorgo anão-soja em relação à silagem de sorgo gigante-feijão (538,84 vs 517,11 g kg⁻¹ MS). Isto pode ser atribuído as maiores concentrações de PB, associado a menores concentrações de FDA, NIDA/N-total e COIDA na silagem de sorgo anão-soja. Digestibilidade semelhante à observada no presente estudo foram registradas por Emile et al. (2009) e Rao et al. (2012) para silagens e forragens de diferentes tipos de sorgo. Porém, DIVMS superiores, variando de 596,0 a 720,4 g kg⁻¹ MS, foram reportadas para silagens de sorgo sem o gene bmr e com o bmr, respectivamente (BOLAÑOS AGUILAR et al., 2012).

Observou-se maior tamanho médio de partículas (TMP) na silagem de sorgo gigante-feijão, em relação à silagem de sorgo anão-soja (Figura 1). Maiores proporções de massa das silagens foram de partículas retidas nas peneiras com malhas de 3,6; 5,0 e 8,0 mm. Porém, ambas as silagens apresentaram TMP adequado, com valores médios de 11,8 mm para sorgo gigante-feijão e de 9,6 mm para sorgo anão-soja, visto que o TMP pode afetar a porosidade, densidade, produção de efluentes, fermentação e indiretamente a deterioração aeróbia da silagem (MUCK et al., 2003). Também está associado à ocorrência de distúrbios metabólicos nos animais, comumente referido como síndrome da vaca gorda, na qual se inclui

dificuldade de parto, retenção placentária, infecção uterina, deslocamento de abomaso, mastite, acidose, cetose, laminite e febre do leite, além de ocasionar redução da digestibilidade da MS e do teor de gordura no leite (YANG; BEAUCHEMIN, 2006; ZEBELI et al., 2006; ZEBELI et al., 2008), principalmente em função da quantidade reduzida de FND fisicamente efetiva.

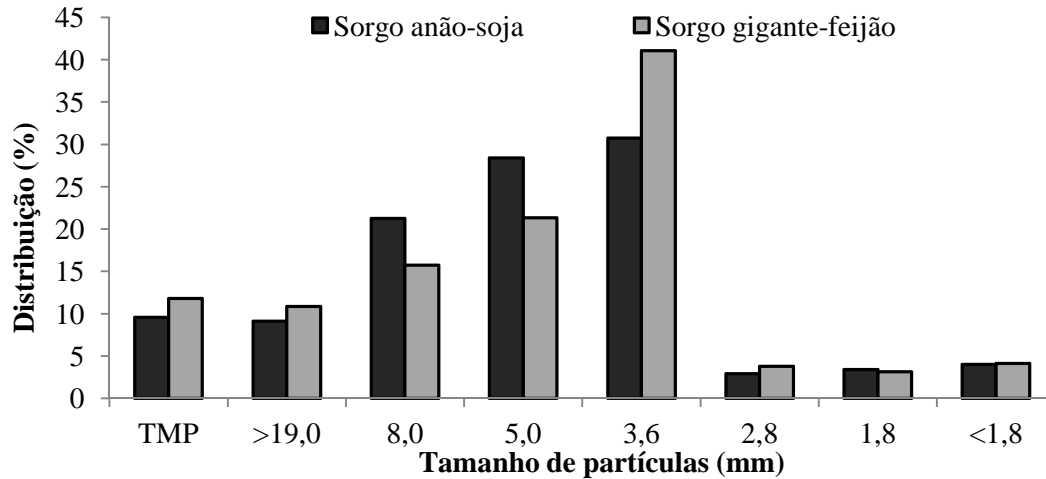


Figura 1. Tamanho médio de partículas (TMP) e estratificação percentual das partículas das silagens em função do diâmetro médio da peneira.

Verificou-se maior ($P < 0,05$) densidade (DE) na silagem de sorgo anão-soja em relação ao sorgo gigante-feijão ($564,48$ vs $519,54$ kg MN m^{-3}), o que pode ser atribuído, em parte, ao menor TMP. Observaram-se em ambas as silagens, que os valores de DE foram superiores ($P > 0,05$) na base do silo, diminuindo gradativamente para o estrato médio e superior, sendo estas diferenças na DE mais expressiva ($P < 0,05$) entre os estratos da silagem de sorgo anão-soja (Tabela 4). Isso ocorre pela maior pressão exercida na massa de forragem disposta na base do silo, durante o processo de compactação, visto que, com o aumento no número de camadas de forragem, associados ao aumento no número de passagem do trator compactador esta pressão tende sempre a aumentar. No entanto, no estrato superior esta pressão é diminuída, o que é agravado quando utilizado silos mal planejados, impossibilitando a passagem do trator de forma mais uniforme até o final do abastecimento e compactação. Característica similar de compactação foi observada por Neumann et al. (2007), em silagens de milho, que relataram maior eficiência de compactação o estrato inferior em relação ao superior, tendo estas apresentado amplitude superior ao do presente estudo, com variação de $532,9$ para $432,5$ kg MN m^{-3} .

Tabela 4. Densidade (DE) da massa de forragem das silagens nos diferentes estratos do silo

Estrato	Sorgo anão-soja		Sorgo gigante-feijão		*EPM
	kg MN m^{-3}	kg MS m^{-3}	kg MN m^{-3}	kg MS m^{-3}	
Superior	532,10 ^B	149,57 ^B	514,83	144,05	2,00
Mediana	564,48 ^{aAB}	158,68 ^{aAB}	519,54 ^b	145,37 ^b	1,88
Inferior	596,86 ^{aA}	167,78 ^{aA}	524,26 ^b	146,69 ^b	3,81
*EPM	10,35	2,91	6,74	1,88	-

Médias na mesma linha, com mesma unidade de medida, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem pelo teste F ($P < 0,05$). Médias na mesma coluna, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem pelo teste F ($P < 0,05$). *EPM = erro-padrão da média.

As silagens de sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão apresentaram DE média de 564 e 519 kg MN m⁻³, respectivamente, situando-se abaixo da DE considerada ideal, segundo Senger et al. (2005). Estes autores relatam que silagens com DE superior a 650 kg MN m⁻³ proporcionam condições anaeróbias satisfatórias para o processo fermentativo de massa ensilada, com conseqüente redução de perdas nos constituintes nutricionais. Porém, quando a silagem é mal compactada, com níveis inferiores a 300 kg MN m⁻³, pode-se ocorrer atividade proteolítica com formação de amônia e aminas, que são associados à redução no consumo de silagens pelos animais (MULLIGAN et al., 2002).

Quanto à estabilidade aeróbia das silagens, notou-se comportamento linear positivo para os valores de pH em função do tempo de exposição ao ar, com maior amplitude na silagem de sorgo gigante-feijão (Figura 2). Isso pode ter ocorrido pela sua menor DE, que favorece a penetração de oxigênio no painel do silo e proporciona condições adequadas à atividade de microrganismos espoliadores. Pahlow et al. (2003) afirmaram que as leveduras são os principais microrganismos envolvidos na fase inicial de deterioração aeróbica, pois nesta fase obtém facilmente energia através da oxidação de vários substratos, incluindo ácidos orgânicos produzidos na fase fermentativa. Normalmente, a degradação aeróbia é mais intensa quanto melhor for a qualidade da silagem, em virtude dos maiores teores de carboidratos solúveis e ácido lático residual (JOBIM; NUSSIO, 2013), o que pode ser observado neste estudo para a silagem de sorgo gigante-feijão, que apresentaram maior concentração de CHOs.

No início da exposição aeróbia, não foram observadas diferenças ($P>0,05$) de pH entre as silagem de sorgo anão-feijão (4,21) e sorgo gigante-feijão (4,12). Esses valores indicam que o processo fermentativo foi adequado, com pH abaixo do preconizado (4,35 e 4,45) para silagens com MS igual a 250 e 300 g kg⁻¹ MN, respectivamente (WEISSBACH, 1996, citado por PAHLOW et al., 2003).

Quando em aerobiose, a silagem sorgo gigante-feijão apresentou menor estabilidade, com rápido aumento de pH no terceiro dia de mensuração, continuando, em menor escala, nos demais dias. Enquanto que na silagem de sorgo anão-soja, observou-se aumento de pH ($P<0,05$), em relação aos primeiro dia, apenas no sexto dia de exposição aeróbia.

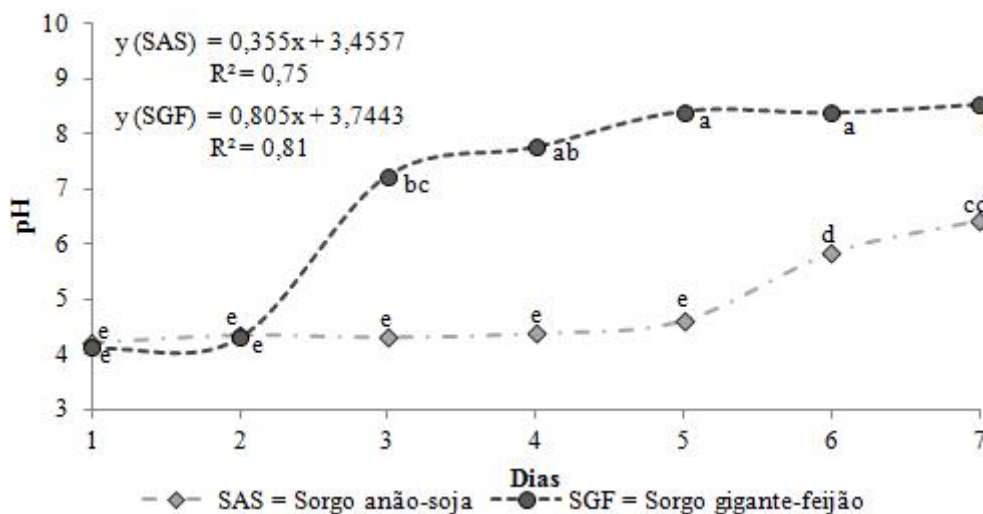


Figura 2. Equações de regressão para pH das silagens em função do tempo de exposição ao ar. Pontos com letras desiguais diferem entre si pelo teste F ($P<0,05$).

As maiores elevações de pH ocorreram no mesmo momento em que foram observadas temperaturas superiores. Verificou-se comportamento quadrático da temperatura em ambas as silagens, com tendência a estabilização próximo ao valor da temperatura ambiente, depois de atingido o ponto máximo de aquecimento (Figura 3). O aumento de temperatura está diretamente relacionado à atividade de microrganismos espoliadores, os quais utilizam os ácidos orgânicos e carboidratos remanescente para obtenção de energia, sendo que parte da energia produzida do seu metabolismo é liberada na forma de calor, aumentando a temperatura da silagem (McDONALD et al., 1991).

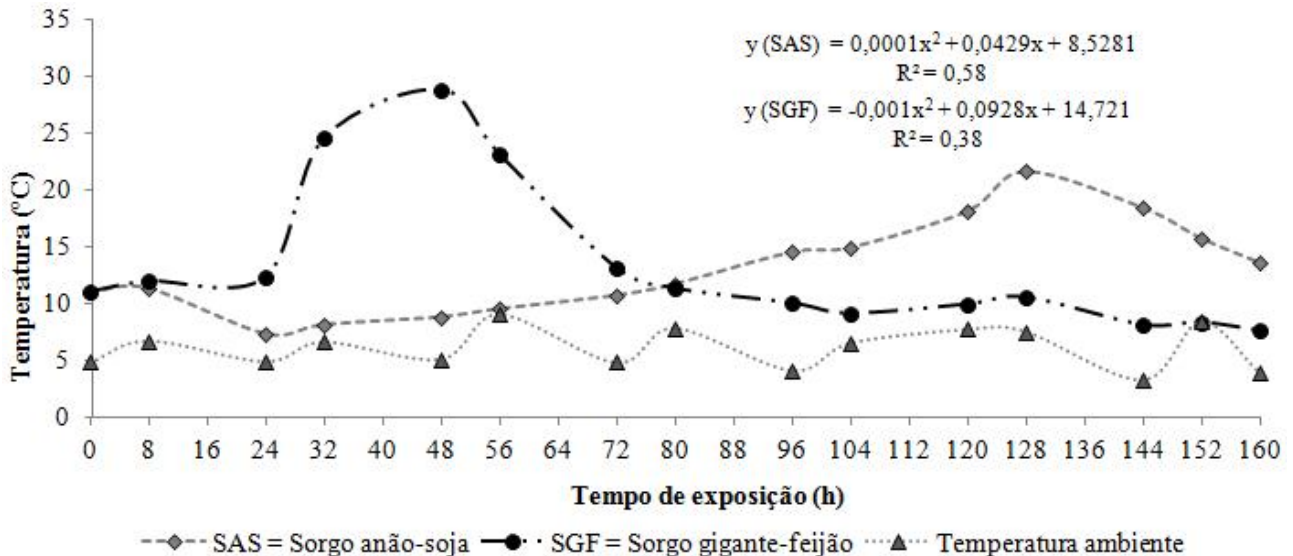


Figura 3. Temperatura ambiente e das silagens e respectivas equações de regressão em função do tempo de exposição ao ar.

As duas silagens mantiveram a temperatura média diária superior à média do ambiente em 2°C durante todo o período de observação, indicativo da forte atividade de microrganismos espoliadores. Após 48 h de exposição ao ar a silagem de sorgo gigante-feijão mostrou redução acentuada da temperatura, evidenciando menor atividade microbiana. Isso ocorre, segundo Neumann et al. (2007), pela limitação na colonização microbiana, ocasionada pela diminuição das fontes de carbono e nitrogênio disponíveis.

Observou-se maior ($P < 0,05$) perda de MO (MOp) para a associação de sorgo anão-soja em relação ao sorgo gigante-feijão, durante o processo de fermentação e armazenagem da massa ensilada. Porém, ocorreu o inverso quando as silagens foram submetidas à exposição aeróbia, com perdas de MO superiores para as silagens de sorgo gigante-feijão (1,6 vs 0,34). Isso pode ser evidenciado com os valores de temperatura e de pH nas silagens de sorgo gigante-feijão, durante o ensaio de estabilidade (Tabela 5).

Tabela 5. Temperatura ambiente, valores médios e máximos de temperatura e pH das silagens e perdas de matéria orgânica (MOp) durante o período de exposição ao ar

Variáveis	Silagens		*EPM
	Sorgo anão + soja	Sorgo gigante + feijão	
Temperatura ambiente (°C)	6,23	6,23	-
Temperatura média (°C)	12,97 ^b	13,71 ^a	0,68
Temperatura máxima (°C)	19,85	25,95	-
Nº dias temperatura máxima	6	3	-
pH médio	4,88 ^b	6,96 ^a	0,30
pH máximo	6,43	8,53	-
Nº dias pH máximo	7	7	-
MOp (%)	0,34 ^a	1,6 ^a	0,05

Médias na mesma linha, seguidas de letras desiguais, diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$). *EPM = erro-padrão da média.

Desempenho produtivo

Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) para os parâmetros de comportamento ingestivo dos animais em função do tipo de silagem ofertada (Tabela 6). Isso indica semelhança entre as silagens quanto à aceitabilidade pelos animais e seus possíveis efeitos sobre os demais parâmetros comportamentais avaliados. A redução na palatabilidade de silagens com baixo consumo voluntário pode ser observado quando se utiliza silagens com valores de pH superiores a 4,0 (MÜLBACH, 1999). Verificou-se que as vacas, em média nos dois tratamentos, despenderam 109,6 min do tempo de observação consumindo a dieta. Segundo Costa et al. (2011), animais estabulados gastam em torno de 1 h com o consumo de alimentos ricos em energia e até mais de 6 h, para alimentos com baixo teor energético. As características das dietas estão relacionadas com o tempo despendido com a ruminação, ócio e consumo de água. Van Soest (1994) afirma que a maior participação de alimentos volumosos na dieta tende a aumentar proporcionalmente o tempo ruminação, da mesma forma, alimentos com maior tamanho de partículas, induzem ao aumento do tempo de mastigação, favorecendo a melhor degradação ruminal.

Apesar de não haver diferença ($P > 0,05$), as vacas recebendo silagem de sorgo anão-soja passaram mais tempo bebendo água e, conseqüentemente, urinaram com maior frequência ($P < 0,05$). Este fato pode estar associado ao maior teor de MS encontrado na silagem de sorgo anão-soja, o que se explica pela alta correlação entre o teor de MS da silagem e o consumo de água pelas vacas ($r = 0,97$; $P < 0,0001$).

Todas as variáveis associadas à ingestão foram superiores ($P < 0,05$) para vacas alimentadas com a silagem de sorgo anão-soja, visto que esta apresentou maiores concentrações de MS e de PB, em relação à silagem de sorgo gigante-feijão, além de menores valores de FDN, que pode ser um limitante de consumo quando em concentrações elevadas (MERTENS, 1992; VAN SOEST, 1994).

Nascimento et al. (2008) constataram valores de ingestão de MS, em silagens de sorgo granífero ($17,64 \text{ kg dia}^{-1}$) e sorgo sacarino ($13,64 \text{ kg dia}^{-1}$) próximas às quantidades de ingestão obtidas para o sorgo anão-soja ($15,43 \text{ kg dia}^{-1}$) e sorgo gigante-feijão ($13,35 \text{ kg dia}^{-1}$), do presente estudo. No entanto, em silagens puras, com as mesmas variedades de sorgo do presente estudo, Emile et al. (2009) observaram ingestão de MS superior, com valores de $15,6$ e $15,3 \text{ kg dia}^{-1}$ para o sorgo anão e gigante, respectivamente.

Os valores de ingestão de PB obtidos foram superiores aos relatados por Pimentel et al. (2013) em

vacas alimentadas com silagens de sorgo mais concentrado de alta proteína (2,19 kg dia⁻¹) ou baixa proteína (2,09 kg dia⁻¹), porém inferiores aos relatados por Nascimento et al. (2008).

Tabela 6. Parâmetros comportamentais e valores de ingestão para vacas alimentadas com dieta à base de silagens mista sorgo-leguminosa

Variáveis	Tratamentos		*EPM
	Sorgo anão-soja	Sorgo gigante-feijão	
Comer, min.	106,33	112,87	2,44
Beber, min.	3,58	2,79	0,22
Ócio, min.	2,91	1,75	0,59
Deitar, min.	7,16	2,58	2,44
Ruminar, min.	2,66	0,50	1,19
Defecar, n° de vezes	1,58	1,25	0,16
Urinar, n° de vezes	0,83 ^a	0,25 ^b	0,12
Ingestão de silagem, kg MS dia ⁻¹	15,43 ^a	13,35 ^b	0,42
Ingestão de MS total, kg MS dia ⁻¹	20,80 ^a	18,72 ^b	0,41
Ingestão de MS 100 kg ⁻¹ PVc	3,60 ^a	3,27 ^b	0,06
Ingestão de PB, kg dia ⁻¹	2,67 ^a	2,23 ^b	0,05
Ingestão média de água, L vaca ⁻¹ dia ⁻¹	72,68	72,68	-

Médias na mesma linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si pelo teste F (P<0,05). *EPM= erro-padrão da média.

Quando alimentadas com silagem sorgo anão-soja, as vacas apresentaram maior (P<0,05) produção de leite total e leite corrigido para 4% de gordura que os animais que receberam silagem de sorgo gigante-feijão (Tabela 7). Isso ocorreu devido à maior ingestão de MS, que associado às maiores concentrações de PB e CHOs e menores concentrações na FDN e FDA, além de melhor DIVMS das silagens de sorgo anão-soja, proporcionaram quantidades superiores de nutrientes, refletindo em melhor desempenho produtivo das vacas. Resultado semelhante ao obtido com a silagem de sorgo anão-soja, para a produção total do leite, foi observado por Dann et al. (2008), quando da inclusão de 45% de sorgo bmr em dietas composta por silagem de alfafa (28,9 kg dia⁻¹). Outros autores observaram produção total de leite inferior, com a utilização de silagens de sorgo granífero e sacarino (média de 22,2 a 24,69 kg dia⁻¹, respectivamente), no entanto, a produção corrigida para 4% de gordura foi superior (NASCIMENTO et al., 2008; EMILE et al., 2009). Colombini et al. (2010) obtiveram maiores produções de leite total e corrigido em vacas alimentadas com silagem de sorgo bmr. Estas variações de resultados, reportados na literatura, se devem às diferenças na composição das dietas e no estágio de lactação dos animais.

As concentrações de gordura e proteína no leite não diferiram (P>0,05) em função da silagem, apresentando concentrações médias de 38,43 e 27,46 g kg⁻¹ de leite, respectivamente. Desta forma, as vacas com maiores produções diárias de leite (vacas alimentadas com silagem de sorgo anão-soja) também produziram maiores quantidades de gordura e proteína (Tabela 7).

Valores próximos, referentes ao teor de gordura, foram relatados por Oliver et al. (2004) e Pimentel et al. (2013) em leite de vacas alimentadas à base de silagens de sorgo com ou sem suplementação proteica. Porém, a gordura do leite foi menor que as concentrações observadas por outros autores, quando a silagem

de sorgo constituiu a base da dieta (EMILE et al.,2009; COLOMBINI et al., 2010 e COLOMBINI et al., 2012). As mudanças na proporção de gordura do leite são um indicativo de variação na proporção acetato: propionato, o que pode ser pela maior disponibilidade de carboidratos fermentáveis, seleção da dieta, redução do tamanho de partícula das dietas, além de variações relativas ao animal, como o estresse calórico, balanço energético negativo, redução do apetite, mastite e lipídios na dieta (NOCEK; YOUNG, 1998).

Tabela 7. Produção e qualidade do leite de vacas alimentadas com dieta à base de silagens mista sorgo-leguminosa

Variáveis	Tratamentos		*EPM
	Sorgo anão-soja	Sorgo gigante-feijão	
Produção de leite, kg dia ⁻¹	28,28 ^a	24,38 ^b	0,93
Prod. corrigida (4% de gordura), kg dia ⁻¹	27,53 ^a	23,19 ^b	0,80
Produção de gordura no leite, kg dia ⁻¹	1,08 ^a	0,90 ^b	0,03
Produção de proteína no leite, kg dia ⁻¹	0,78 ^a	0,66 ^b	0,02
Gordura, g kg ⁻¹	38,43	37,57	0,99
Proteína, g kg ⁻¹	27,67	27,25	0,41
N-ureico no leite, mg dL ⁻¹	20,24	19,87	0,32
^s EA (prod. Leite 4%)	1,32 ^a	1,23 ^b	0,02
Peso corporal médio bruto (PCb), kg	661,42	647,25	7,88
Peso corporal médio corrigido (PCc), kg	578,21	572,26	6,85
Ganho diário corrigido (GPCc), kg dia ⁻¹	0,27	-0,07	0,19

Médias na mesma linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si pelo teste F (P<0,05). ^sEA = Eficiência alimentar para produção de leite; *EPM= erro-padrão da média.

Para as concentrações de PB no leite (média de 27,46 g kg⁻¹ de leite), os valores situaram-se abaixo dos valores observados por Boyd et al. (2008), para dietas à base de silagens de sorgo-azevém. Isto possivelmente ocorreu pela menor concentração de proteína da dieta utilizada neste experimento, visto que a produção de proteína no leite apresenta correlação positiva com a quantidade de proteína fornecida e seu perfil proteico, assim, vacas alimentadas com baixas quantidades de proteína degradável no rúmen (PDR) produzem menor teor proteico (KALSCHEUR et al., 2006). Estes autores relataram que 19% da PB ingerida pelos animais foram utilizadas para síntese de PB do leite, estando abaixo das observadas neste experimento, onde se observaram valores de conversão nas vacas alimentadas com silagem de sorgo anão-soja de 29,21%, enquanto as que receberam silagem de sorgo gigante-feijão apresentaram maior conversão, 29,60%. A maior conversão para este último grupo ocorreu, possivelmente, pela menor quantidade de proteína degradável no rúmen, por a silagem fornecida conter menores concentrações de NIDN e maior razão NIDA/N-total, que a silagem de sorgo anão-soja. Isto se explica pelo fato que, quando a PDR é limitante para o crescimento dos microrganismos do rúmen, aproximadamente 85% dela podem ser convertidos a proteína microbiana, 64% desta é metabolizável, sendo utilizada com eficiência de 67% para a lactação, depois de considerado manutenção, lactação e crescimento, obtendo-se, deste modo, conversão de 36% (NRC, 2001), valor superior aos obtidos neste estudo.

Além disto, as maiores produções diárias de PB no leite, nas vacas que consumiram silagem de sorgo anão-soja, podem ser explicadas pela diferença na qualidade da fibra do sorgo anão e sorgo gigante,

dada as maiores concentrações de FDN no sorgo anão, conforme verificado por Da Silva et al. (2014). Pois, a inclusão de forragens com maiores teores de FDN, em complemento às forragens composta por leguminosas de baixa fibra, em geral, tendem a aumentar a produção de PB no leite (HOFFMAN; ESSER, 2001). Nascimento et al. (2008) atribuem os baixos teores de proteína no leite de vacas alimentadas com silagens de sorgo ao reduzido valor energético encontrado em algumas silagens.

Os valores de N-ureico não diferiu ($P>0,05$) em função da dieta adotada para os lotes de vacas, com valor médio de $20,05 \text{ mg dL}^{-1}$. Estes valores foram superiores aos verificados em vacas alimentadas com silagens de sorgo em vários experimentos (HOFFMAN; ESSER, 2001; DANN et al., 2008; COLOMBINI et al., 2010; COLOMBINI et al., 2012). O que pode ter ocorrido, possivelmente, em função da baixa razão energia: proteína nas dietas fornecidas, pois, segundo Broderick e Claiton (1997), diversos fatores podem alterar o nível de ureia no leite, sendo mais significativo o efeito das concentrações de PB na dieta e a quantidade de energia, de forma que, quando se tem uma dieta com baixa proteína e carboidratos de fácil fermentação, os valores de N-ureico tendem a diminuir.

Os fatores ambientais também exercem importância sobre o teor de N-ureico no leite. Dufrasne et al. (2010), em avaliação dos fatores ambientais sobre o teor de N-ureico no leite de vacas, na Bélgica, observaram valores médios de $12,1 \text{ mg dL}^{-1}$, porém 19% das amostras analisadas apresentaram teor superior a $16,3 \text{ mg dL}^{-1}$ e 10% superiores a $18,7 \text{ mg dL}^{-1}$. Sendo constatado efeito do período do ano sobre o balanço entre nitrogênio e energia ingerida pelos animais, com alterações nas concentrações de N-ureico no leite. De acordo com os mesmos autores, durante o inverno os teores de N-ureico tendem a ser estável por os animais estarem estabulados e haver maior controle da dieta, porém, durante o verão, os animais têm acesso livre às pastagens que, em geral, fornecem um bom aporte de proteína, aumentando a razão PB/energia e consequentemente o N-ureico no leite.

Segundo Kamoun et al. (2012), não existem valores considerados normais para o conteúdo de N-ureico no leite de vacas, e os pesquisadores não concordam com a padronização destes níveis, verificando-se grandes variações entre regiões. Entretanto, apesar das variações nos teores de ureia no leite, diversos trabalhos apresentam N-ureico na faixa de 8 a 17 mg dL^{-1} sem relatarem qualquer problema no aspecto fisiológico destas vacas (HOFFMAN e ESSER, 2001; KALSCHEUR et al., 2006; FAUST et al., 2007; DANN et al., 2008; BROUK et al., 2011; COLOMBINI et al., 2012). De acordo com Santos et al. (2001), o aumento nos níveis de ureia no sangue acima de 19 a 20 mg dL^{-1} , em vacas de alta produção, podem causar problemas de fertilidade e na taxa de concepção.

Os níveis de N-ureico no leite, aceitáveis pela comunidade francesa, situam-se dentro dos limites de 9,33 a $16,33 \text{ mg dL}^{-1}$, abaixo dos valores verificados neste estudo. Porém, apesar dos elevados valores observados para a concentração de N-ureico no leite, os teores de PB se situaram abaixo do valor de referência adotado, que é de 32 g kg^{-1} para o leite de vacas (LILCO, 2014).

Observou-se maior eficiência alimentar ($P<0,05$) para a produção de leite corrigido a 4% de gordura, nos animais quando tratados com a silagem de sorgo anão-soja. Isto está associado às melhores características químico-bromatológica e a maior ingestão de nutrientes, sendo verificados valores de 1,32 e 1,23 para as silagens de sorgo anão-soja e sorgo gigante-feijão, respectivamente. No entanto, não foram

constatadas diferenças ($P>0,05$) para o ganho de peso médio diário corrigido (GPCc) entre tratamentos, mesmo com ganho diário de 0,27 kg para as vacas que recebem silagem de sorgo anão-soja e -0,07 para as alimentadas com sorgo gigante-feijão, fato atribuído ao alto coeficiente de variação dos dados. Nascimento et al. (2008) também não verificaram diferença de GPCc entre vacas alimentadas com silagens de sorgo granífero e sacarino, tendo relatado valores de -0,02 e 0,12 kg dia⁻¹, respectivamente.

Como resultado comparativo entre os dados avaliados no período pós-experimental e os dados referentes ao início dos tratamentos, não foram verificados efeitos residuais nos animais inerentes aos tratamentos, de forma que todos retornaram ao seu estágio fisiológico inicial, considerado as diferenças naturais para produção de leite e período reprodutivo, decorrentes do período experimental. Ao fim do período pós-experimental, todas as vacas estavam prenhes e não apresentavam nenhum distúrbio metabólico.

Conclusões

O consórcio do sorgo gigante com feijão produz forragens com maiores concentrações de PB e NIDN e menores de FDN e FDA que a forragem de sorgo anão com soja, porém, não melhora a DIVMS.

A silagem produzida com o sorgo anão-soja apresenta maior perda de matéria orgânica decorrentes do processo fermentativo, no entanto, tem maior estabilidade aeróbia que a silagem de sorgo gigante-feijão.

A silagem de sorgo anão-soja apresenta maior valor nutricional, conferido pelas maiores concentrações de MS, PB e NIDN, associado à baixa razão NIDA/N-total e menores valores de FDN e FDA, além da maior DIVMS.

As vacas alimentadas com silagem de sorgo anão-soja consomem maiores quantidades de silagem e da dieta total. Do mesmo modo, produzem maiores quantidades diárias de leite, sem alterar as concentrações de gordura e proteína.

A silagem de sorgo anão-soja proporciona melhor eficiência alimentar, para produção de leite, que a silagem de sorgo gigante-feijão, além de manter o ganho de peso diário positivo.

Referências

- AHMAD, A.H.; AHMAD, R.; MAHMOOD, N. Production potential and quality of mixed sorghum forage under different intercropping systems and planting patterns. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Faisalabad, v. 44, n. 2, p. 203-207, 2007.
- AKHTAR, M.F.; AHMAD, A.H.; ZAMIR, M.S.I.; KHALID, F.; MOHSIN, A.U.; AFZAL, M. Agro-qualitative studies on forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) sown alone and in mixture with forage legumes. *Pakistan Journal of Science*, Lahore, v. 65, n. 2, p. 179-185, 2013.
- ARSHAD, M. Yield comparison of structural carbohydrates in sweet sorghum and legumes under single and double cropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, Dubai, v. 12, n. 2, p. 210-223, 2012.
- ARSHAD, M.; RANAMUKHAARACHCHI, S.L. Effects of legume type, planting pattern and time of establishment on growth and yield of sweet sorghum-legume intercropping. *Australian Journal of Crop Science*, Brisbane, v. 6, n. 8, p.1265-1274, 2012.
- ASHBELL, G.; WEINBERG, Z.G. Top silage losses in horizontal silos. *Canadian Agricultural Engineering*, Winnipeg, v. 34, n. 2, p. 171-175, 1992.

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. 3rd revision, Washington, D.C., 1997.
- AUFRERE, J. Etude de la prévision de la digestibilité des fourrages par une méthode enzymatique. *Annales de Zootechnie*, Les Ulis, v. 31, n. 2, p. 111-130, 1982.
- AYUB, M.; SHOAIB, M. Studies on fodder yield and quality of sorghum grown alone and in mixture with guara under different planting techniques. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Faisalabad, v. 46, n. 1, p. 25-29, 2009.
- BAXTER, H.D.; MONTGOMERY, M.J.; OWEN, J.R. Comparison of soybean-grain sorghum silage with corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 67, n. 1, p. 88-96, 1984.
- BOLAÑOS AGUILAR, E.D.; EMILE, J.C.; AUDEBERT, G. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nevadura café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Ciudad de México, v. 3, n. 2, p. 441-449, 2012.
- BORRELL, A.K; HAMMER, G.L. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Science*, Madison, v. 40, n. 5, p. 1295-1307, 2000.
- BOYD, J.A.; BERNARD, J.K.; PAS.; WEST, J.W.; PARKS, A.H. Performance of lactating dairy cows fed diets based on sorghum and ryegrass silage and different energy supplements. *The Professional of Animal Scientist*, Champaign, v. 24, n. 4, p. 349-354, 2008.
- BRODERICK, G.A.; CLAYTON, M.K. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 80, n. 11, p. 2964-2971, 1997.
- BROUK, M.J.; CVETKOVIC, B.; RICE, D.W.; SMITH, B.L.; HINDS, M.A.; OWENS, F.N.; IIAMS, C.; SAUBER, T.E. Performance of lactating dairy cows fed corn as whole plant silage and grain produced from genetically modified corn containing event DAS-59122-7 compared to a nontransgenic, near-isogenic control. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 94, n. 4, p. 1961-1966, 2011.
- CELLIER, V.; COLNENNE-DAVID, C.; DEYTIEUX, V.; PLESSIX, S. [2014] *Rés0pest: un réseau expérimental de systèmes de culture "zéro pesticide" en grande culture et polyculture-élevage - Plaquette de présentation du projet*. Disponível em: <http://www6.inra.fr/reseau-pic/content/download/3090/31526/version/3/file/Res0Pest_plaquette_presentation_Avril_2014.pdf>. Acesso em: 15/09/2014.
- CHILLIARD, Y.; REMOND, B.; AGABRIEL, J. et al. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. *Bulletin Technique CRZV Theix - INRA*, Theix, v. 70, p. 117-131, 1987.
- COLOMBINI, S.; GALASSI, G.; CROVETTO, G.M.; RAPETTI, L. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 95, n. 8, p. 4457-4467, 2012.
- COLOMBINI, S.; RAPETTI, L.; COLOMBO, D.; GALASSI, G.; CROVETTO, G.M. Brown midrib forage sorghum silage for the dairy cow: nutritive value and comparison with corn silage in the diet. *Italian Journal of Animal Science*, Pavia, v. 9, n. 53, p. 273-277, 2010.
- CONCENÇO, G. *Caracterização de biótipos de capim-arroz (Echinochloa crusgalli) resistentes e suscetíveis ao quinclorac e desenvolvimento de método para a detecção rápida da resistência*. 2008. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- CONTRERAS-GOVEA, F.E.; LAURIAULT, L.M.; MARSALIS, M.; ANGADI, S.; PUPPALA, N. Performance of forage sorghum-legume mixtures in southern High Plains, USA. *Forage and Grazinglands*, Madison, v. 7, n. 1, p. 401-414, 2009.
- COSTA, L.T.; SILVA, F.F.; VELOSO, C.M.; PIRES, A.J.V.; ROCHA NETO, A.L.; BONOMO, P.; MENDES, F.B.L.; OLIVEIRA, J.S.; AZEVÊDO, S.T.; SILVA, V.L. Comportamento ingestivo de vacas alimentadas com cana-de-açúcar e diferentes níveis de concentrado. *Archivos de Zootechnia*, Córdoba, v. 60, n. 230, p. 265-273, 2011.
- DA SILVA, M.S.J.; EMILE, J.C.; AUDEBERT, G.; WALCZAK, P.; NOVAK, S. Associer une légumineuse au sorgho pour améliorer la qualité de la ration. In: RENCONTRE RECHERCHE RUMINANTS, 21, 2014, Paris, Actes... Paris: 3R, 2014. p. 01.

- DANN, H.M.; GRANT, R.J.; COTANCH, K.W.; THOMAS, E.D.; BALLARD, C.S.; RICE, R. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility in holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 91, n. 2, p. 663-672, 2008.
- DUFRASNE, I.; ISTASSE, L.; LAMBERT, R.; ROBAYE, V.; HORNICK, J.L. Étude des facteurs environnementaux influençant la teneur en urée dans le lait de vache en Wallonie (Belgique). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, Gembloux, v. 14, n. 1, p. 59-66, 2010.
- DUMAS, J.B.A. Procédés de l'analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique*. Paris, v. 2, p. 198-213, 1831.
- EMILE, J.C.; AL-RIFAI, M.; CHARRIER, X.; LEROY, P.; BARRIERE, Y. Grain sorghum silages as an alternative to irrigated maize silage. In: GENERAL MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 21, 2006, Badajoz, *Proceedings...* Badajoz: Grassland Science in Europe, 2006. p. 80-82.
- EMILE, J.C.; BARRIÈRE, Y. Effets de la teneur en grain de l'ensilage de maïs sur les performances zootechniques de vaches laitières. *INRA Productions Animales*, Paris, v. 5, n. 2, p. 113-120, 1992.
- EMILE, J.C.; LE ROY, P.; BOURGOIN, F.; AL RIFAI, M. Comparaison de types de sorgho ensilés pour des vaches laitières. In: RENCONTRE RECHERCHE RUMINANTS, 16, 2009, Paris, *Actes...* Paris: 3R, 2009. p. 51.
- FAHEY G.C.J.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Madison, WI: American Society of Agronomy, 1994. 998p.
- FAUST, M.; SMITH, B.; RICE, D.; OWENS, F.; HINDS, M.; DANA, G.; HUNST, P. Performance of lactating dairy cows fed silage and grain from a maize hybrid with the cry1F trait versus its nonbiotech counterpart. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 90, n. 12, p.5706-5713, 2007.
- GODDEN, S.; WILSON, L.; BEY, R. et al. Evaluation of the azotest: strip as recommended for the estimation of milk urea nitrogen concentrations in individual cows, milk line and bulk tank sample. *Bovine Practitioner*, College Station, v. 37, n. 1, p. 36-43, 2003.
- HOFFMAN, P.C.; ESSER, N.M. Effects of forage species on milk protein production by lactating dairy cows. *The Professional of Animal Scientist*, Champaign, v. 17, n. 4, p. 274-279, 2001.
- JAVANMARD, A.; NASAB, A.D.M.; JAVANSHIR, A.; MOGHADDAM, M.; JANMOHAMMADI, H. Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. *Journal Food, Agriculture and Environment*, Helsinki, v. 7, n. 1, p. 163-166, 2009.
- JOBIM, C.C. *Ensilabilidade das plantas forrageiras e qualidade do volumoso conservado*. [2008]. Disponível em: <<http://www.iepec.com/noticia/ensilabilidade-das-plantas-forrageiras>> Acesso em: 29/04/2014.
- JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. (Org.). *Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros*. 1ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2013, p. 649-670.
- JUNTANAM, T.; THIENGTHAM, J.; SAWANON, S.; TUDSRI, S.; SIWICHAI, S.; PRASANPANICH, S. Effect on milk production in Thailand of silage from forage sorghum and forage sorghum with *Lablab purpureus*. *Kasetsart Journal Natural Science*, Bangkok, v. 47, n. 1, p. 53-59, 2013.
- KALSCHUR, K.F.; BALDWIN, R.L.; B. P. GLENN, B.P.; KOHN, R.A. Milk production of dairy cows fed differing concentrations of rumen-degraded protein. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 89, n. 1, p. 249-259, 2006.
- KAMOUN, M.; JEMMALI, B.; SELMI, H.; TAYECHI, L.; BADREDDINE, M.; DRIDI, J. Monitoring milk urea level and feed ration as a potential tool for milk quality. *Journal of Physiology and Pharmacology Advances*, Urmia, v. 2, n. 1, p. 69-76, 2012.
- KOTEN, B.B.; SOETRISNO, R.D.; NGADIYONO, N.; SOEWIGNYO, B. Nilai nutrisi hijauan hasil tumpangsari arbila (*Phaseolus lunatus*) berinokulum rhizobium dengan sorgum (*Sorghum bicolor*) pada jarak tanam arbila dan jumlah baris sorgum berbeda. *JITP*, Surakarta, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2013.

- KUNG JUNIOR, L.; GRIEVE, D.B.; THOMAS, J.W.; HUBER, J.T. Added ammonia or microbial inocula for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 67, n. 2, p. 299-306, 1984.
- LABORATOIRE INTERPROFESSIONNEL LAITIER DU CENTRE-OUEST – LILCO. *Modalités de paiement du lait*. Disponível em: <http://www.aclccp.com/portal/page/portal/LILCO/dossiers_techniques/paiement_lait/MODALITES_PAIEMENT_DU_LAIT.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2014.
- LIMA, R.; LOURENÇO, M.; DÍAZ, R.F.; CASTRO, A.; FIEVEZ, V. Effect of combined ensiling of sorghum and soybean with or without molasses and lactobacilli on silage quality and in vitro rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, Philadelphia, v. 155, n. 2, 122-131, 2010.
- MARTIN, L.C.T.; GARCIA, R.; SILVA, J.F.C. Efeito da associação milho-soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na qualidade da silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 562-575, 1983.
- McDONALD, P.; HENDERSON, N.; HERON, S. *The biochemistry of silage*. 2.ed. Marlow: Chalcombe, 1991. 339p.
- MELCION, J.P. La granulométrie de l'aliment: principe, mesure et obtention. *INRA Production Animalles*, Paris, v. 13, n. 2, p. 81-97, 2000.
- MERTENS, D.R. Analysis of fiber in feeds its uses feeds evaluation and ration formulation. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 29, Lavras. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1992. p.188-219.
- MUCK, R.E., SHINNERS, K.J. Conserved forage (silage and hay): progress and priorities. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19, 2001, São Pedro. *Proceedings...* Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry, 2001. p.753.
- MUCK, R.E.; MOSER, L.E.; PITT, R.E. Postharvest factors affecting ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.). *Silage Science and Technology*. 1.ed. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p.251-304.
- MÜLBACH, P.R.F. Silagem: produção com controle de perdas. In: LOBATO, J.F.P., BARCELLOS, J.O.J.; KESSLER, A.M. et al. (Eds.). *Produção de bovinos de corte*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1999. p.97-120.
- MULLIGAN, F.J.; QUIRKE, J.; RATH, M.; CAFFREY, P.J.; O'MARA, F.P. Intake, digestibility, milk production and kinetics of digestion and passage for diets based on maize or grass silage fed to late lactation dairy cows. *Livestock Production Science*, Amsterdam, v.74, n. 2, p. 113-124, 2002.
- NAHAR, K. Sweet sorghum: an alternative feedstock for bioethanol. *Iranica Journal of Energy & Environment*, Dubai, v. 2, n. 1, p. 58-61, 2011.
- NASCIMENTO, W.G.; PRADO, I.N.; JOBIM, C.C.; EMILE, J.C.; SURAUULT, F.; HUYGHE, C. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 896-904, 2008.
- NEUMANN, N.; MÜHLBACH, P.R.F.; NÖRNBERG, J.L.; OST, P.R.; LUSTOS, S.B.C. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 36, n. 5 (supl.), p. 1603-1613, 2007.
- NGONGONI, N.T.; MWALE, M.; MAPIYE, C.; MOYO, M.T.; HAMUDIKUWANDA, H.; TITTERTON, M. Research note: Inclusion of lablab in maize and sorghum silages improves sheep performance. *Tropical Grasslands*, Brisbane, v. 42, n. 3, p. 188-192, 2008.
- NOCEK, J.E.; YOUNG, G.D. Ruminocentesis to evaluate the relationship milk fat-protein inversion and subclinical acidosis in commercial dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 76, suppl.1, p. 297-305, 1998.
- NUSSIO, L.G.; MANZANO, R.P.; PEDREIRA, C.G.S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM. MANEJO DE PASTAGENS DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15, 1998. Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fealq, 1998. p. 203-242.
- _____. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 381p.

- OLIVER, A. L.; PEDERSEN, J.F.; GRANT, R.J.; KLOPFENSTEIN. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Science*, Madison, v. 45, n. 6, p. 2234-2239, 2005.
- OLIVER, A.L.; GRANT, R.J.; PEDERSEN, J.F.; O'REAR, J. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 87, n. 1, p. 637-644, 2004.
- PAHLOW, G.; MUCK, R.E.; DRIEHUIS, F.; ELFERINK, S.J.W.H.O.; SPOELSTRA, S.F. Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.). *Silage science and technology*. Madison: American Society of Agronomy, 2003. p. 31-93.
- PAULA, M.R.P.; AMORIM, T.R.; ARAÚJO, C.A.M.; NAKANISHI, E.Y.; ALDRIGHI, J.; NETO, M.C. Composição químico-bromatológica de silagens mistas de sorgo e soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA - ZOOTEC, 19, 2009, Águas de Lindóia. *Anais... Águas de Lindóia: FZEA/USP, 2009. CD-ROM*.
- PIMENTEL, J.J.O.; LANA, R.P.; OLIVEIRA, A.S.; TEIXEIRA, R.M.A.; ABREU, D.C. Dairy cows feeding with sorghum silage supplemented with concentrate. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 255-261, 2013.
- RAO, P.S.; DESHPANDE, S.; BLÜMMEL, M.; REDDY, B.V.S.; HASH, T. Characterization of brown midrib mutants of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, Nottingham, v. 6, n. 1 (special issue), p. 71-75, 2012.
- SANTOS, G.T.; CAVALIERI, F.L.B.; MODESTO, E.C. Recentes avanços em nitrogênio não protéico na nutrição de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE, 2, 2001, Lavras. *Anais... Lavras:UFLA, 2001, p. 199-228*.
- _____. *SAS/STAT® user's guide*. version 9.2. 2.ed. Cary, North Caroline: Statistical Analysis System Institute Inc, 2009. 7869 p.
- SENGER, C.C.D.; MÜHLBACH, P.R.F.; SÁNCHEZ, L.M.B.; NETTO, D.P.; LIMA, L.D. Composição química e digestibilidade "in vitro" de silagem de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, 2005.
- SREE, S.M.; RAO, L.V.; PANDEY, A. Ethanol production in solid substrate fermentation using thermo-tolerant yeast, *Process Biochemistry*, Vandœuvre-lès-Nancy, v. 34, n. 2, p. 115-119, 1999.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 74, n. 12, p. 3583-3597, 1991.
- YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A. Increasing the physically effective fiber content of dairy cow diets may lower efficiency of feed use. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 89, n. 7, p. 2694-2704, 2006.
- ZAGO, C.P.; CRUZ, M.E.; GOMIDE, J.A. Silagem de milho, silagem de milho com soja e fenos de gramíneas na alimentação de vacas leiteiras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 21., 1984, Belo Horizonte. *Anais... Belo Horizonte: SBZ, 1984. p. 323*.
- ZEBELI, Q.; TAF AJ, M.; STEINGASS, H. et al. Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 89, n. 2, p. 651-668, 2006.
- ZEBELI, Q.; DIJKSTRA, J.; TAF AJ, M. et al. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 91, n. 5, p. 2046-2066, 2008.

V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo do sorgo anão e sorgo gigante, em monocultivo, apresentam mesma produtividade, porém, a associação do sorgo anão soja (baixa densidade e densidade padrão) melhora a produtividade, em relação ao sorgo gigante-feijão, em alta densidade. As formas de estabelecimento, dentro das mesmas cultivares de sorgo, não provoca diferença na produtividade da matéria seca total.

O sorgo gigante apresenta maiores concentrações de colmo que o sorgo anão e a inclusão das leguminosas proporcionam, de forma geral, a redução no percentual da fração colmo dos sorgos e aumento das folhas, principalmente no sorgo gigante.

A inclusão de leguminosas melhora os níveis proteicos das forragens, sem, no entanto, melhorar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), em relação ao respectivo sorgo em monocultivo. O sorgo gigante tem maior potencial para produção de forragem de qualidade em relação ao sorgo anão, com ou sem a associação com leguminosas, por apresentar melhor composição químico-bromatológica e DIVMS.

A inclusão de leguminosas, em associação com o sorgo, apresenta efeito quadrático em relação ao sequestro de carbono, com ponto de máximo para a inclusão da soja em nível de 13% da matéria seca total. O maior percentual de participação das leguminosas na matéria seca total reduz a razão C/N da forragem.

A silagem de sorgo anão-soja apresenta maior perda de matéria orgânica durante o processo fermentativo. Porém, quando da exposição ao ar, a perda de matéria orgânica é menor na silagem sorgo anão-soja, por ter maior estabilidade aeróbia.

As silagens de sorgo anão-soja apresentam melhor composição químico-bromatológica e DIVMS. Como reflexo, as vacas alimentadas com esta silagem ingerem maiores quantidades de matéria seca e produzem maiores quantidades diárias de leite, sem alterar as concentrações de proteína, gordura e N-ureico. Além disto, vacas alimentadas com silagem de sorgo anão-soja não

apresentam diferenças de comportamento, em relação às vacas alimentadas com silagens de sorgo gigante-feijão.

A silagem de sorgo anão-soja proporciona melhor eficiência alimentar, para produção de leite, e mantém o ganho de peso diário positivo.

Dentro das condições experimentais de realização deste estudo, o sorgo gigante associado ao feijão teve seu melhor potencial zootécnico reduzido, pela menor qualidade da fibra no feijão. Enquanto, a inclusão da soja melhora o potencial produtivo e o valor nutricional da forragem com sorgo anão, tido como de pior qualidade que o sorgo gigante, bem como proporciona silagens com elevado valor alimentício. Neste sentido, acredita-se que um possível consórcio entre sorgo gigante e soja, mantendo uma margem de aproximadamente 15 dias de diferença, entre o período de implantação de cada cultura (semeio da soja e após o sorgo), poderia produzir ainda mais forragem, com melhor qualidade, que as constatadas neste estudo. Entretanto, ter-se-ia maior custo com o manejo das culturas, principalmente na fase de implantação.

O consórcio entre sorgo e leguminosas é uma alternativa viável para a produção de forragem e silagens de qualidade, porém, a obtenção de resultados positivos, tanto em termos agronômicos, ambientais e zootécnicos, está condicionada ao tipo de sorgo e/ou leguminosa consorciados.