

MARINA APARECIDA LIMA

**SISTEMA SILVIPASTORIL E MONOCULTIVO DE *Brachiaria decumbens*
MANEJADOS A LONGO PRAZO COM NOVILHAS LEITEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

L732s Lima, Marina Aparecida, 1987-
2018 Sistema silvipastoril e monocultivo de *Brachiaria*
 decumbens manejados a longo prazo com novilhas leiteiras /
 Marina Aparecida Lima. – Viçosa, MG, 2018.
 x, 71 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernanda Helena Martins Chizzotti.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Forragem - Cultivo. 2. Forragem - Composição.
3. Novilhos - Nutrição. 4. Agrossilvicultura. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

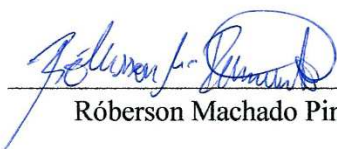
CDD 22. ed. 633.202

MARINA APARECIDA LIMA

**SISTEMA SILVIPASTORIL E MONOCULTIVO DE *Brachiaria decumbens*
MANEJADOS A LONGO PRAZO COM NOVILHAS LEITEIRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2018.



Róberson Machado Pimentel



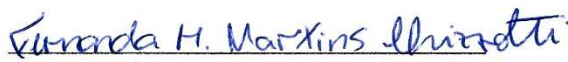
Mirton José Frota Morenz



Domingos Sávio Campos Paciullo
(Coorientador)



Dilermando Miranda da Fonseca



Fernanda Helena Martins Chizzotti
(Orientadora)

A Deus acima de tudo

Aos meus pais, Eva e Marcio pelo exemplo de garra e luta para que eu pudesse
seguir com os estudos.

Dedico.

“A maior recompensa do nosso trabalho não é o que nos pagam por ele, mas aquilo em que ele nos transforma. ”

(John Ruskin)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e por me proporcionar saúde em todos os momentos dessa trajetória, e por ensinar que tudo acontece segundo sua vontade.

Aos meus pais, Marcio e Eva pelos bons exemplos de honestidade e apoio incondicional durante toda minha vida.

Ao meu irmão Marcelo e minha cunhada Tatiana pela amizade e companheirismo.

A minha afilhada Vitória, a quem me dedico ao máximo para que eu possa contribuir para sua formação.

Aos meus familiares que mesmo eu estando ausente em muitas datas importantes me deram força para continuar.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do mestrado e doutorado.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Gado de Leite pela oportunidade e auxílio durante o experimento de campo.

A Fundação do Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudo.

A minha orientadora, Professora Dr. Fernanda Helena Martins Chizzotti, pelos valiosos ensinamentos, confiança e pelas oportunidades que me foram oferecidas.

Ao meu coorientador Dr. Domingos Sávio Campos Paciullo por ser um exemplo profissional a ser seguido, pela competência e humildade acima de tudo.

Ao professor Dr. Dilermando Miranda da Fonseca, pelos ensinamentos não somente profissionais, mas para a vida, e por ter aceitado participar da banca de qualificação e defesa.

Aos membros da banca de defesa da tese, Dr. Róberson Machado Pimentel e Dr. Mirton José Frota Morenz, pelos ensinamentos e contribuições e por aceitarem participar da banca.

Ao meu coorientador Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues pelos ensinamentos e contribuição ao longo deste estudo.

Aos membros que participaram da banca de qualificação, Dr. Rasmão Garcia e Dr. Carlos Augusto de Miranda Gomide, pelas valiosas contribuições ao longo deste estudo.

Ao professor Dr. Fabyano Fonseca e Silva pelo auxílio na análise estatística.

Aos funcionários da Embrapa Gado de Leite, em especial: Del, Jonas, Leo, senhor Mariano, Diogo, Binha, Zé Luís, Vicente, Evandro, Reginaldo e senhor Antônio (*In memoriam*), Dona Meirinha e senhor Moreira que sempre estavam dispostos a contribuir para que esse trabalho fosse realizado da melhor forma possível.

Aos professores Dr. Adriano Nunes Nesi e Dr. Wagner Luís Araújo por contribuir com análises laboratoriais, possibilitando a utilização de equipamentos do laboratório da Unidade de Crescimento de Plantas (UCP) da UFV.

A pós-doutoranda Dora por toda paciência e auxílio nas análises realizadas na UCP, sem você não conseguiria.

Aos estagiários e bolsista: Mateus, Dauydison, André, Bruno, Wanderson, Tatiana, Dádiva, Tati, Talita, Dayane, Ene e Val, por toda contribuição nas avaliações de campo e momentos de descontração mesmo com a correria do trabalho

Aos queridos amigos EMBRAPIANOS: Tainá, Raquel, Vanessa, Larisse, Dani e Geovane, pelos momentos de descontração e agradável convivência.

Aos queridos amigos do GEFOR UFV: Daiana, Aureana, Cássia, Carla, Hemython, Igor e Tarcis, pela amizade e convívio durante esses anos.

A todos aqueles que contribuíram para realização deste trabalho, recebam meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Marina Aparecida Lima, filha de Eva Aparecida Alves Lima e Marcio Antonio Lima, nasceu em Viçosa/MG – Brasil em 05 de outubro de 1987.

Iniciou a Graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em 2007, e obteve o diploma em Bacharel em Ciência Animal em 2012.

Iniciou o curso de mestrado no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa em 26 de novembro de 2012, concentrando seus estudos na área de Forragicultura e Pastagem, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2014.

Em agosto de 2014, iniciou o curso de doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Forragicultura e Pastagem, submetendo-se a defesa da tese em 31 de julho de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS	3
Capítulo 1 – Produtividade e valor nutritivo de <i>Brachiaria decumbens</i> e desempenho de novilhas leiteiras em sistema silvipastoril de longo prazo.....	7
Introdução	7
Material e métodos.....	9
Resultados	18
Discussão	27
Conclusão.....	34
Referências.....	35
Capítulo 2 – Evolução temporal de um sistema silvipastoril: produtividade e valor nutritivo da forragem e desempenho animal.....	41
Introdução	41
Material e métodos	43
Resultados	51
Discussão	59
Conclusão.....	65
Referências.....	66

RESUMO

LIMA, Marina Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Sistema silvipastoril e monocultivo de *Brachiaria decumbens* manejados a longo prazo com novilhas leiteiras.** Orientadora: Fernanda Helena Martins Chizzotti. Coorientadores: Domingos Sávio Campos Paciullo e Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues.

Para a composição da tese foram preparados dois capítulos que consistiram de estudos com características relacionadas a produção, valor nutritivo de *B. decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) de longo prazo. No primeiro capítulo, objetivou-se avaliar a produtividade, valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em SSP e MONO, durante o verão e outono de dois anos consecutivos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados, com dois tratamentos (SSP e MONO) e três repetições. Houve redução na densidade populacional de perfilhos, massa de forragem total e verde, e densidade volumétrica total e verde da forragem no SSP quando comparado ao MONO no verão. No outono, nenhuma diferença foi observada entre os sistemas. O sombreamento no SSP aumentou o teor de proteína bruta na forragem em 25% e 33% quando comparado ao MONO durante o primeiro e segundo ano experimental, respectivamente, e reduziu o teor de fibra insolúvel em detergente neutro. No entanto, não alterou o teor de fibra insolúvel em detergente ácido e lignina em detergente ácido. O MONO proporcionou maior taxa de lotação e ganho de peso por área do que o SSP. O ganho de peso médio diário foi maior no MONO durante o segundo ano experimental. No segundo capítulo, os objetivos foram avaliar as características produtivas e valor nutritivo de *B. decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em SSP e MONO, durante quatro períodos experimentais compreendidos entre 2003 e 2016, os quais, analisados conjuntamente, caracterizaram os sistemas do 6º ao 18º ano após o estabelecimento. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com arranjo fatorial 2 x 4 (dois sistemas de produção: SSP e MONO; e quatro experimentos: 2003 a 2004, 2004 a 2007, 2011 a 2014 e 2014 a 2016). Houve redução nas massas e densidades volumétricas da forragem no SSP em relação ao MONO a partir de 2004/2007, onde os níveis de sombreamento já estavam afetando a assimilação de carbono pela forrageira.

ABSTRACT

LIMA, Marina Aparecida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Silvopastoral system and monoculture of *Brachiaria decumbens* managed in the long-term with dairy heifers.** Adviser: Fernanda Helena Martins Chizzotti. Co-advisers: Domingos Sávio Campos Paciullo and Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues.

For the thesis composition were prepared two chapter that consisted of studies with related to the production characteristics, nutritive value of *B. decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system (SPS) and monoculture (MONO). In the first chapter, the objective was to evaluate was to evaluate the productive traits, forage quality, and performance of dairy heifers grazing *Brachiaria decumbens* in the SPS and monoculture (MONO) during the summer and autumn of two consecutive years. The experimental design used was randomized complete blocks, with two treatments (SPS and MONO) and three replications. There was a reduction in the tiller population density, total and green forage mass, and total and green forage bulk density in the SPS when compared to the MONO in the summer. In the autumn, no difference was observed between the systems. Shading in SPS increased crude protein content by 25% and 33% when compared to the MONO during the first and second experimental year, respectively, and reduced the neutral detergent fibre content. However, it did not change the fibre content in acid detergent and lignin. The MONO provided higher stocking rate and weight gain per area than the SPS. The average daily gain was higher in the MONO in the second experimental year. In the second chapter, the objective was to evaluate productive characteristics and nutritive value of *B. decumbens* and performance of dairy heifers in SPS and MONO during four experimental periods between 2003 and 2016, which, together analyzed, characterized the systems from 6th to 18th year after establishment. The experimental design was a randomized complete block with a 2 x 4 factorial arrangement (two production systems: SPS and MONO; and four experiments: 2003 to 2004, 2004 to 2007, 2011 to 2014 and 2014 to 2016, there was a reduction in the masses and bulk density of forage in SPS in relation to MONO from 2004/2007, where shading levels were already affecting the assimilation of carbon by the forage.

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, os sistemas de produção de ruminantes são baseados principalmente na utilização de pastagens como fonte de alimento, que se constitui na forma mais econômica de produção. De acordo com estimativas do último censo agropecuário nacional, as áreas de pastagens (cultivadas e nativas) ocupam aproximadamente 172,3 milhões de hectares (IBGE, 2006). No entanto, estima-se que 50 a 70% dessas pastagens estão em algum grau de degradação (Dias-Filho, 2011). Diante do cenário atual, e da necessidade de se produzir alimentos para atender o crescente aumento exponencial da população mundial e da grande preocupação com as mudanças climáticas globais, os sistemas integrados surgem como alternativa sustentável de uso da terra, contribuindo para recuperação de áreas degradadas e possíveis mitigações das emissões dos gases causadores do efeito estufa (GEE) (Alves et al., 2017).

Entre as modalidades dos sistemas integrados, o sistema silvipastoril (SSP), se destaca como alternativa sustentável de uso da terra, onde há consórcio de árvores, pasto e animais na mesma área, diversificando e aumentando a renda na propriedade (Cubbage et al., 2012). Entre os benefícios potenciais do uso desses sistemas, destacam-se: melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo, bem-estar animal, maior teor de proteína bruta da forragem, aumento do estoque de carbono e redução da emissão de GEE (Abraham et al., 2014; Baliscei et al., 2013; Domiciano et al., 2016; Franzluebbbers et al., 2017; Murgueitio et al., 2011).

Nesses sistemas, ocorrem diversas interações entre seus componentes que o tornam mais complexo de se manejar em relação ao cultivo da forrageira em monocultivo (pleno sol). Uma das principais limitações do SSP é a redução da quantidade e qualidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atinge o

dossel forrageiro cultivado no sub-bosque pela interceptação das copas das árvores. Essa alteração do ambiente luminoso, modifica as características morfofisiológicas da forrageira, justamente como uma estratégia para se tornar mais eficiente em aproveitar a quantidade e qualidade reduzida de luz que chega no sub-bosque. Em geral, gramíneas cultivadas em SSP apresentam maior comprimento da lâmina foliar e colmo, maior área foliar específica com menor densidade de massa e maior concentração de clorofilas para aumentar a área de captação de luz incidente (Dias-filho, 2002; Gobbi et al., 2009; Santos, et al., 2016; Paciullo et al., 2017). Além disso, as forrageiras em crescimento sob árvores priorizam o crescimento dos perfilhos existentes em detrimento da produção de novos perfilhos (Belesky et al., 2011). Outros ajustes observados com a redução da RFA, é a priorização do crescimento da parte aérea em relação as raízes (Paciullo et al., 2010). Essas modificações morfofisiológicas, refletem diretamente na produtividade da forrageira (Geremia et al., 2018; Soares et al., 2009).

Neste contexto, a redução da RFA em SSP pode alterar as características produtivas, estruturais e o valor nutritivo da forragem (Baldissera et al., 2016; Lopes et al., 2017; Neel et al., 2017). Todas essas modificações podem influenciar o comportamento ingestivo dos animais em pastejo, interferindo na quantidade e qualidade dos nutrientes consumidos ao longo do dia, com possíveis impactos na produção animal (Geremia et al., 2018).

Apesar dos inúmeros benefícios proporcionados pelo SSP, poucos estudos avaliam o potencial do sistema em anos subsequentes, o que limita uma análise quanto à persistência e sustentabilidade do mesmo. Portanto, este estudo foi desenvolvido com base em dados de dois experimentos independentes, porém realizados na mesma área experimental com objetivo de:

1 – Avaliar as características produtivas, o valor nutritivo da forragem de *Brachiaria decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em sistema silvipastoril e em monocultivo durante o 17º e 18º ano após estabelecimento;

2 – Avaliar a evolução temporal de um sistema silvipastoril do 6º ao 18º ano, sobre a produtividade, valor nutritivo da forragem de *Brachiaria decumbens* e desempenho de novilhas mestiças leiteiras.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E.M.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M.; KOSTOPOULOU, P.; KARATASSIOU, M.; ANJALANIDOU, K.; KATSOUTA, C. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v.88, p.287–299, 2014.
- ALVES, B.J.R.; MADARI, B.E.; BODDEY, R.M. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.1–4, 2017.
- BALDISSERA, T.C.; PONTES, L.D.S.; GIOSTRI, A.F.; BARRO, R.S.; LUSTOSA, S.B.C.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.D.F. Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C₄ grasses growing under trees. **Crop and Pasture Science**, v.67, p.1199–1207, 2016.
- BALISCEI, M.A.; BARBOSA, O.R.; SOUZA, W.; COSTA, M.A.T.; KRUTZMAN, A.; QUEIROZ, E.O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.35, p.49–56, 2013.

- BELESKY, D.P.; BURNER, D.M.; RUCKLE, J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass and Forage Science**, v.66, p.370–380, 2011.
- CUBBAGE, F.; BALMELLI, G.; BUSSONI, A.; NOELLEMAYER, E.; PACHAS, A.N.; FASSOLA, H.; COLCOMBET, L.; ROSSNER, B.; FREY, G.; DUBE, F.; DE SILVA, M.L.; STEVENSON, H.; HAMILTON, J.; HUBBARD, W. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. **Agroforestry Systems**, v.86, p.303-314, 2012.
- DIAS-FILHO, M.B., 2011. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. MBDF: Belém, PA. pp. 215.
- DIAS-FILHO, M.B. Photosynthetic light response of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agrícola**, v.59, p.65-68, 2002.
- IBGE. Censo agropecuário 1920/2006. Até 1996, dados extraídos de: Estatística do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 julho de 2018.
- DOMICINIANO, L.F.; MOMBACH, M.A.; CARVALHO, P.; SILVA, N.M.F.; PEREIRA, D.H.; CABRAL, L.S.; LOPES, L.B.; PEDREIRA, B.C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v.58, p.920–929, 2016.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; CHAPPELL, J.C.; SHI, W.; CUBBAGE, F.W. Greenhouse gas emissions in an agroforestry system of the southeastern USA. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.85–100, 2017.
- GEREMIA, E.V.; CRESTANI, S.; MASCHERONI, J.D.C.; CARNEVALLI, R.A.; MOURÃO, G.B.; SILVA, S.C. Sward structure and herbage intake of

- Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. **Livestock Science**, v.212, p.83–92, 2018.
- GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; NETO, A.F.G.; PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1645–1654, 2009.
- LOPES, C.M., PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C.; GOMIDE, C.A.M.; MORENZ, M.J.F.; VILELA, S.D.J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, p.225–233, 2017.
- MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.1654–1663, 2011.
- NEEL, J.P.S.; BELESKY, D.P. Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. **Grass and Forage Science**, v.72, p.137–153, 2017.
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; FERNANDES, P.B.; ROCHA, W.S.D.; CASTRO, C. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, v.67, p.598–603, 2010.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; MAURÍCIO, R.M.; FERNANDES, P.B.; MORENZ, M.J.F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v.72, p.590–600, 2017.

- SANTOS, D.C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V.B.; FRANÇA, A.F.S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.233, p.16–24, 2016.
- SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C. Influence of luminosity on the behavior of eleven perennial summer forage species. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.443–451, 2009.

CAPÍTULO 1

Produtividade, valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em sistema silvipastoril de longo prazo

INTRODUÇÃO

A demanda por sistemas pecuários sustentáveis que promovem melhorias nos serviços ambientais, sociais e econômicos têm aumentado, e a adoção de sistemas integrados é uma alternativa promissora para recuperar áreas degradadas, especialmente em regiões montanhosas. Paciullo et al. (2017) sugeriram que uma opção para a produção pecuária sustentável seja a adoção do sistema silvipastoril (SSP). Dentre os benefícios produtivos e ambientais do SSP, destacam-se: melhoria da disponibilidade de nutrientes no solo, aumento da produção animal associada ao conforto térmico e maior teor de proteína bruta (PB) da forragem, bem como a possibilidade de diversificação da renda na propriedade (Baliscei et al., 2013; Kyriazopoulos et al., 2013; Murgueitio et al., 2011; Paciullo et al., 2011), e ganhos por serviços ambientais, tais como, aumento da biodiversidade, sequestro de carbono atmosférico e mitigação de gases de efeito estufa (Alves et al., 2017; López-Carrasco et al., 2015).

Dentre as espécies de gramíneas tropicais de rota fotossintética C₄ que apresentam tolerância moderada ao sombreamento, destacam-se algumas cultivares de forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, sendo a *Brachiaria decumbens* considerada uma das mais adaptadas para SSP, especialmente aqueles estabelecidos em regiões com topografia montanhosa (Gobbi et al., 2009). No entanto, o manejo do

pastejo em SSP é mais complexo quando comparado ao monocultivo de *B. decumbens* (MONO). Uma das principais limitações do SSP é a diminuição da quantidade (densidade de fluxo de fótons) e a qualidade (por exemplo, redução na relação vermelho: vermelho distante) da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no dossel forrageiro com o avanço da idade das árvores, o que pode reduzir o perfilhamento e a produção de forragem e alterar o valor nutritivo (Abraham et al., 2014; Barnes et al., 2015; Neel & Belesky, 2017).

Neste sentido, avaliações de longo prazo em SSP são fundamentais para uma melhor compreensão do potencial do sistema em anos subsequentes. Assim, este estudo representa uma contribuição para avaliações de longo prazo com produção animal em SSP. Nesse contexto, melhor compreensão das respostas produtivas de cada componente do sistema, ao longo do tempo, oferece oportunidades para propor medidas de intervenção e ajustes de manejo que garantam a estabilidade produtiva, econômica e sustentável do sistema. Esta é uma das principais lacunas na literatura, uma vez que há muitas avaliações realizadas nos primeiros anos de estabelecimento, mas poucos estudos avaliam por um período de tempo maior, o que limita uma análise quanto à persistência e sustentabilidade do sistema.

Assim, espera-se que a longo prazo no SSP pode-se aumentar o ganho de peso individual de novilhas leiteiras em relação ao MONO, devido ao maior teor de PB e ambiente mais confortável aos animais. No entanto, sombreamentos mais intensos no SSP afetam negativamente a produtividade das pastagens, resultando em menor taxa de lotação e produção animal por área. Neste sentido, o objetivo com este estudo foi avaliar as características produtivas e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras durante o verão e outono de dois anos consecutivos em SSP e MONO no 17^o e 18^o anos após estabelecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento e histórico dos sistemas

O estudo foi realizado na Embrapa Gado de Leite (EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) no município de Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil (21°33'22"S, 43°06'16"W, 410 m de altitude) em uma área total de 8,4 ha com declividade de aproximadamente 30%. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico), com estação seca (outono–inverno) e estação chuvosa (primavera–verão), bem definidas. Os dados climáticos (Figura 1) foram registrados na estação meteorológica automática localizada a 500 m da área experimental. O período experimental compreendeu o verão e outono de dois anos consecutivos (2014/2015 e 2015/2016), os quais caracterizam os sistemas do 17^o e 18^o anos após o estabelecimento.

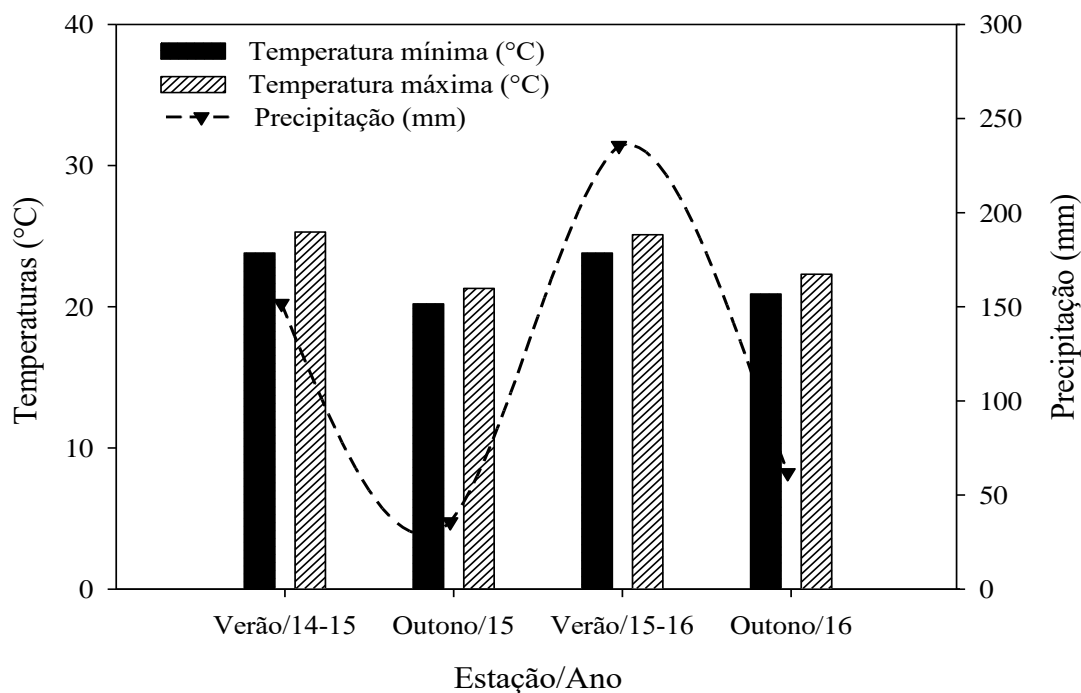


Figura 1 – Temperaturas médias e precipitação pluvial durante o período experimental.

O solo da área em estudo é do tipo latossolo vermelho-amarelo e distrófico com textura argilosa e topografia montanhosa (Embrapa, 2013). A amostragem do solo foi realizada na profundidade de 0–20 cm para caracterização química do solo. Os valores médios das análises químicas do solo no SSP e MONO foram, respectivamente: pH (água) 4,7 e 4,7; fósforo (Mehlich-1) 3,7 e 1,9 mg dm⁻³; potássio 50,6 e 49,5 mg dm⁻³; cálcio 0,9 e 0,7 cmol_c dm⁻³; magnésio 0,4 e 0,3 cmol_c dm⁻³; alumínio 0,9 e 0,7 cmol_c dm⁻³; (H + Al) 6,0 e 5,4 cmol_c dm⁻³; e matéria orgânica 3,8 e 3,8 dag kg⁻¹.

A área experimental onde este estudo foi realizado, têm sido utilizada em estudos multidisciplinares desde seu estabelecimento em novembro de 1997 (Müller et al., 2010; Paciullo et al., 2010; Xavier et al., 2014). O SSP foi estabelecido em faixas de 30 m de largura com a forrageira *Brachiaria decumbens* (syn. *Urochloa decumbens*) Stapf. cv. Basilisk (Figura 2), alternada com renques compostos por quatro linhas de árvores (espaçamento de 3 x 3 m) (Figura 3).

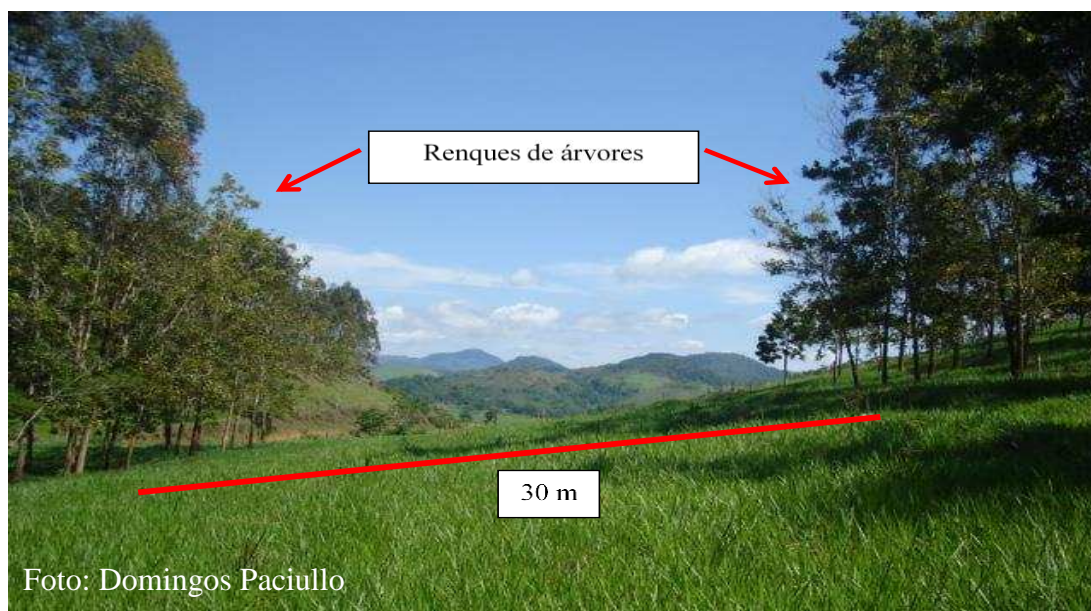


Figura 2 – Distribuição dos componentes arbóreos e forrageira no sistema silvipastoril.

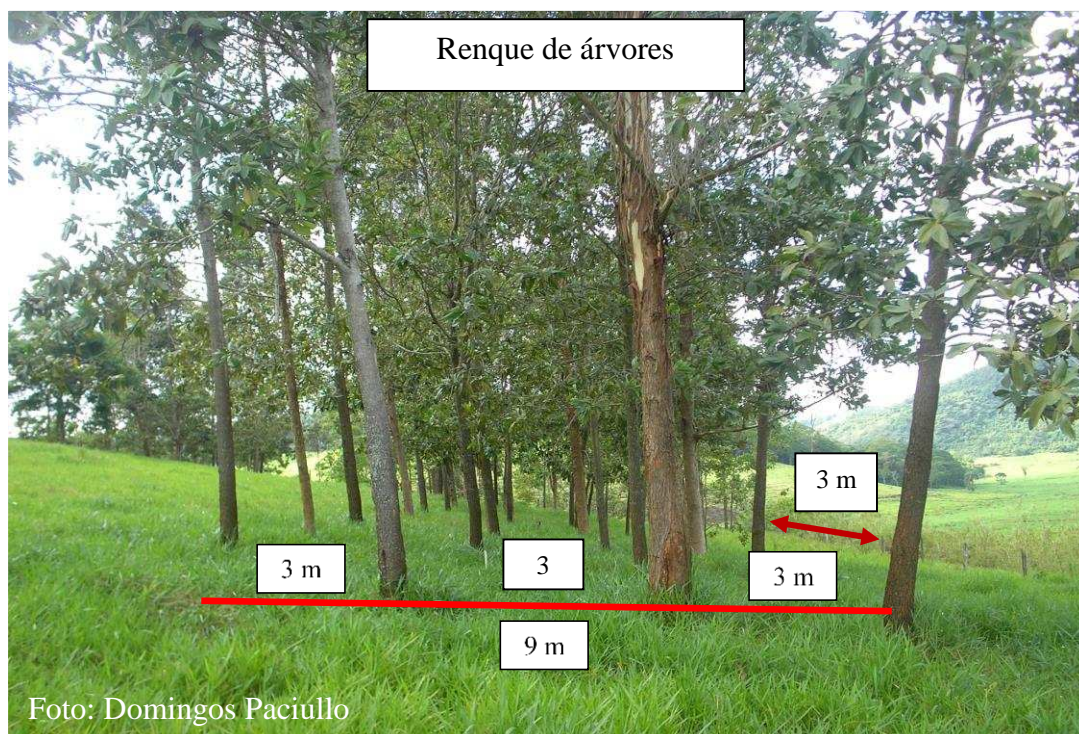


Figura 3 – Espaçamento entre linhas de 3 m e entre árvores na linha de 3 m no sistema silvipastoril.

O componente arbóreo consistiu da espécie *Eucalyptus grandis*, além das leguminosas arbóreas *Acacia mangium* e *Mimosa artemisiana* plantadas em nível de forma alternada nas linhas de plantio que coincidiu com a direção norte-sul, com o objetivo de evitar a erosão superficial do solo. O MONO foi estabelecido com a forrageira em pleno sol (sem a presença de árvores). As leguminosas arbóreas foram utilizadas para fornecer sombra e biomassa rica em nitrogênio e outros nutrientes, e o eucalipto foi utilizado com objetivo de fornecer sombra e produção de madeira. Antes do plantio das espécies arbóreas foram adicionados, 1.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 600 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 250 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 30 kg ha⁻¹ de micronutrientes (FTE BR-16). A adubação na cova para o plantio das mudas de *A. mangium* e *M. artemisiana* foi realizada com a aplicação de 50 g de calcário dolomítico, 80 g de fosfato natural, 100 g de superfosfato

simples, 25 g de cloreto de potássio e 10 g de FTE BR-16 por cova. A adubação para espécie *E. grandis* foi realizada com a aplicação de 75 g de sulfato de amônio, 225 g de superfosfato simples e 15 g de cloreto de potássio. Para o estabelecimento da forrageira no SSP e MONO, seguiu-se o manejo e preparo do solo, utilizando implemento de tração animal, onde foi realizado aração mínima do solo. A aplicação de corretivos e fertilizantes no MONO foi semelhante à utilizada no SSP.

Entre 1998 e 2000, as pastagens permaneceram sem animais para garantir o crescimento inicial das espécies arbóreas. Em 2001 e 2002, as pastagens foram utilizadas para o pastejo com vacas secas, respeitando-se períodos de ocupação de 5 dias e descanso de 45 dias. Durante o período entre 2003 e 2013, os sistemas foram manejados com novilhas em crescimento. No período de 2003 a 2010, sob lotação rotativa e sem adubação de manutenção e de 2011 a 2013 em lotação contínua e com aplicação de 64 kg ha⁻¹ de N e K₂O e 16 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ano. No presente estudo, não houve aplicações adicionais de fertilizantes ou corretivos, caracterizando-se como um sistema com baixa utilização de insumos e uso extensivo (baixa taxa de lotação e pastejo leniente), para garantir a permanência e sustentabilidade das pastagens após os 17º e 18º anos de estabelecimento.

A percentagem de sombreamento foi medida utilizando-se o ceptômetro AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Pullman, WA, EUA), no qual medidas não destrutivas foram realizadas da RFA que chegava ao sub-bosque. Dez medidas foram realizadas em cada uma das sete diferentes distâncias dos piquetes no SSP de acordo com a influência do sombreamento no pasto (Figura 4). No MONO, as medições da RFA foram realizadas aleatoriamente nos piquetes. As medições foram realizadas durante o verão e outono em dias claros (sem nuvens) às 9:00, 12:00 e 15:00 h a 1 m acima do nível do solo. As densidades médias de fluxo dos fótons fotossintéticos foram

1.010 e 532 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no SSP e 1.953 e 1.151 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no MONO no verão e outono, respectivamente. A partir desses dados, foi calculada a redução na RFA no SSP, em relação ao MONO de 51%.

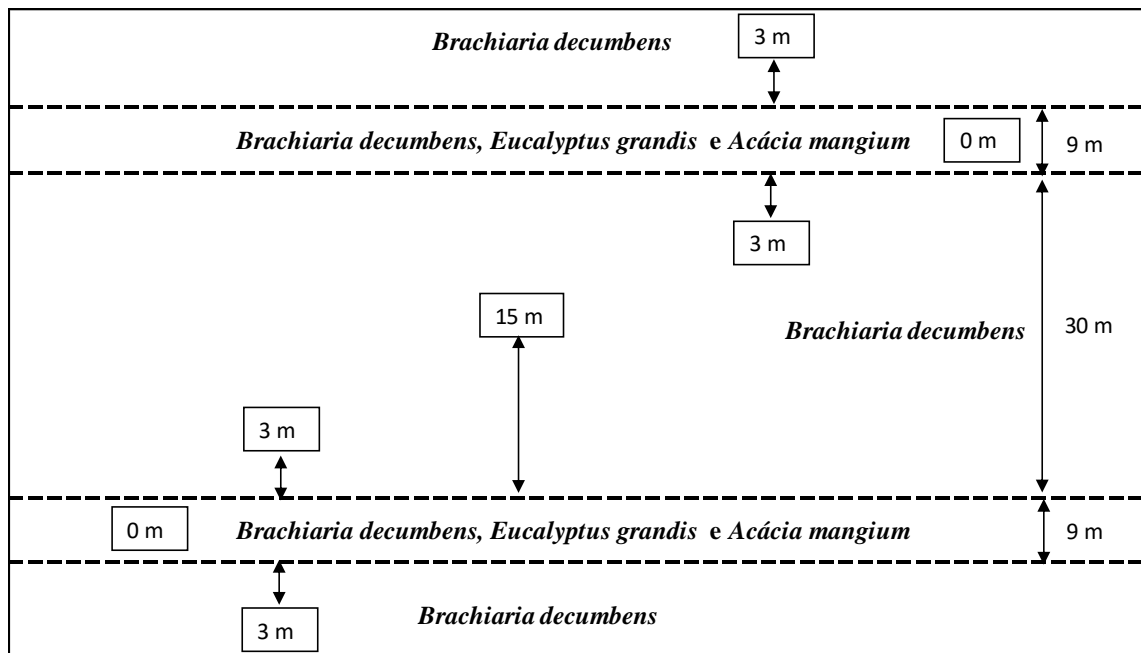


Figura 4 – Croqui do SSP com as distâncias em relação aos renques de árvores onde foram realizadas as medidas da RFA.

Para caracterizar o componente arbóreo, as medidas das árvores foram realizadas em outubro de 2016. As árvores de *E. grandis* apresentaram altura média de 29 m e diâmetro na altura do peito (DAP) de 45 cm, com 50 árvores por ha. As árvores de *A. mangium* apresentaram 14,2 m de altura e 32 cm de DAP, com 16 árvores por hectare. Além do eucalipto e da acácia, havia 15 árvores por ha de *M. artemisiana*, que não foram medidas, mas contribuíram para a densidade total de 81 árvores por hectare, após o 18º ano de plantio.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, atribuíveis a diferenças na topografia e fertilidade do solo, com dois tratamentos e três repetições, em arranjo de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo. Os tratamentos consistiram dos sistemas (SSP e MONO) que foram alocados nas parcelas. Cada parcela consistiu de um piquete com área de 1,4 ha, totalizando seis piquetes (três no SSP e três no MONO), com uma área experimental total de 8,4 ha. As estações do ano (verão e outono) foram consideradas subparcelas. Outros 6 ha (3 ha no SSP e 3 ha no MONO) foram utilizados para manejo de animais reservas, que também foram usados para o manejo do pastejo e ajuste da taxa de lotação.

Manejo dos animais e da pastagem

Todos os procedimentos envolvendo animais durante o estudo foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso dos Animais da Embrapa Gado de Leite (protocolo nº 02/2013). O pastejo iniciou em meados de outubro de cada ano experimental para permitir a adaptação dos animais e do pasto, para então, iniciar as avaliações. O período efetivo de avaliações dentro de cada ano compreendeu, em média, 150 dias (dezembro a maio).

O manejo do pastejo foi realizado utilizando o método de lotação contínua com taxa de lotação variável, visando manter a altura do pasto na meta pré-determinada de 35 cm (Fernandes, 2016), caracterizada como *put-and-take* (Allen et al., 2011). Cada pasto (piquete) foi pastejado por três novilhas leiteiras mestiças (Holandês x Gir), com idade aproximada de 12 meses e peso corporal médio inicial de 200 kg em 2014/2015 e 240 kg em 2015/2016, totalizando 18 animais em cada ano experimental. O cruzamento de animais (Holandês x Gir) é amplamente utilizado em sistemas de

produção de leite à base de pasto no Brasil, devido à alta produção de leite da raça Holandesa e a resistência da raça Gir às condições climáticas tropicais. Outras novilhas reservas (grazers) foram colocadas e retiradas de cada piquete de acordo com a necessidade de manutenção dos pastos na meta de altura pré-determinada de 35 cm (assumindo uma variação de 10%). Os animais foram selecionados com base no peso e composição genética semelhante. Durante o período experimental, os animais receberam água e suplementação de minerais *ad libitum*. Vacinações contra febre aftosa, raiva e leptospirose foram realizadas anualmente. O controle de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* foi realizado a cada 28 dias com Cypermethyl Pour On aplicado na linha dorsal do animal, iniciando pela inserção da cauda até o pescoço.

Avaliações

A altura do pasto foi monitorada semanalmente usando uma régua graduada em centímetros. As medições foram realizadas em 140 pontos por piquete. No SSP, 70% das medições foram realizadas entre os renques de árvores e 30% dentro do renque de árvores. Essa estratificação foi realizada considerando a influência do sombreamento nas características estruturais do pasto.

A massa de forragem foi estimada por amostragem direta (destrutiva) a cada 28 dias. Para isso, foram colhidas 12 amostras em cada piquete utilizando uma armação de metal de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) em locais onde a altura do pasto era de 35 cm (meta pré-determinada). No SSP, quatro amostras foram colhidas na área dentro dos renques de árvores e oito amostras entre os renques, a fim de representar as áreas com maior e menor incidência de RFA. As plantas foram colhidas a uma altura de 5 cm acima do nível do solo e levadas para o laboratório onde foram pesadas e separadas em duas sub-amostras. Uma sub-amostra de 300 g foi colocada em estufa

com ventilação forçada de ar a 55 °C por 72 h para determinar o teor de matéria seca (MS) da amostra total. Outra sub-amostra de 200 g foi separada nas frações verde e forragem morta. Na fração verde, foi contado o número de perfilhos vegetativos e reprodutivos (com inflorescência). Em seguida, a fração verde foi separada em lâmina foliar e colmo para determinar a composição morfológica por separação manual. Os materiais foram secos em estufa com ventilação forçada de ar a 55 °C por 72 h, onde foi determinado a MS de seus constituintes. A massa seca verde foi constituída pelo somatório das massas seca de lâmina foliar e colmo, e a massa seca total representou o somatório da massa seca verde e da massa de forragem morta. A densidade volumétrica total e verde da forragem foi calculada dividindo-se a massa seca total e verde da forragem pela altura média do pasto.

Amostras para estimar o valor nutritivo da forragem foram colhidas a cada 28 dias pelo método de simulação manual do pastejo proposto por Sollenberger & Cherney (1995), no qual a forragem foi colhida manualmente durante observação do hábito de pastejo dos animais. Uma amostra composta foi colhida em cada piquete, totalizando seis amostras (três no SSP e três no MONO). Imediatamente após a colheita, as amostras foram levadas para o laboratório, onde foram homogeneizadas, e uma sub-amostra de 500 g de cada piquete foi acondicionada em sacos de papel kraft devidamente identificados, e seca em estufa com ventilação forçada a 55 °C por 72 h. Após a secagem, a forragem foi moída em moinho com facas tipo Willey equipado com uma tela de malha de 1 mm e embalada em recipientes plásticos identificados para análise laboratorial. A determinação da composição química e da digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) da forragem foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal da EMBRAPA e analisadas quanto aos teores de MS, onde as amostras retornaram à estufa a 105 °C por 12 h. O teor de N (com base na MS) foi analisado segundo o

procedimento de *Kjeldahl* (AOAC, 1990). O teor de proteína bruta (PB) foi calculado como a concentração total de N x 6,25. O teor de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido (LDA), com base na MS foram analisados de acordo com a metodologia proposta por Van Soest et al. (1991). A DIVMS foi determinada de acordo com a técnica descrita por Tilley & Terry (1963).

A taxa de lotação (TL) foi calculada com base nos pesos dos animais “*testers*” mais os pesos dos animais reguladores durante o período em que eles permaneceram nos piquetes, bem como na área total (ha) de cada tratamento durante cada estação. O ganho de peso médio diário (GMD) dos animais foi utilizado para estimar o desempenho das novilhas. Para isso, os animais foram pesados no início do experimento e a cada 28 dias após jejum de sólidos e líquidos por 12 h. O GMD foi obtido pela diferença entre as pesagens, dividida por 28 (intervalo de pesagem). O ganho de peso por área (GPA) foi determinado pela multiplicação do GMD dos animais pela TL por piquete e pelo número de dias que permaneceram em pastejo.

Análise estatística

Os dados foram analisados em delineamento de blocos completos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com medidas repetidas no tempo. Os sistemas foram alocados nas parcelas e as estações do ano nas subparcelas. Foram utilizados modelos mistos com o PROC MIXED do SAS[®] (versão 9.0), considerando o sistema, a estação, o ano e suas interações como efeitos fixos e a repetição aninhada ao sistema de produção e o erro como efeitos aleatórios. A escolha da matriz de covariância foi baseada no Critério de Informação de Akaike-AIC (Wolfinger, 1993), adotando as seguintes fontes de variação: sistema de produção, estação, ano e suas interações. As

médias foram comparadas pela diferença mínima significativa de Fischer, utilizando a opção PDIFF do comando LSMEANS. Para todas as análises foi definido nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Altura do pasto

As alturas médias do pasto no SSP e MONO foram de 34,6 e 34,9 cm no verão e 32,5 e 32,9 cm no outono. Verificou-se que o pastejo foi efetivo em manter as alturas dentro da faixa pré-determinada, indicando que o manejo com o uso de taxa de lotação variável foi eficiente para o controle da altura do pasto. A altura foi próxima a meta pré-determinada de manejo da altura do pasto de 35 cm (Figura 5).

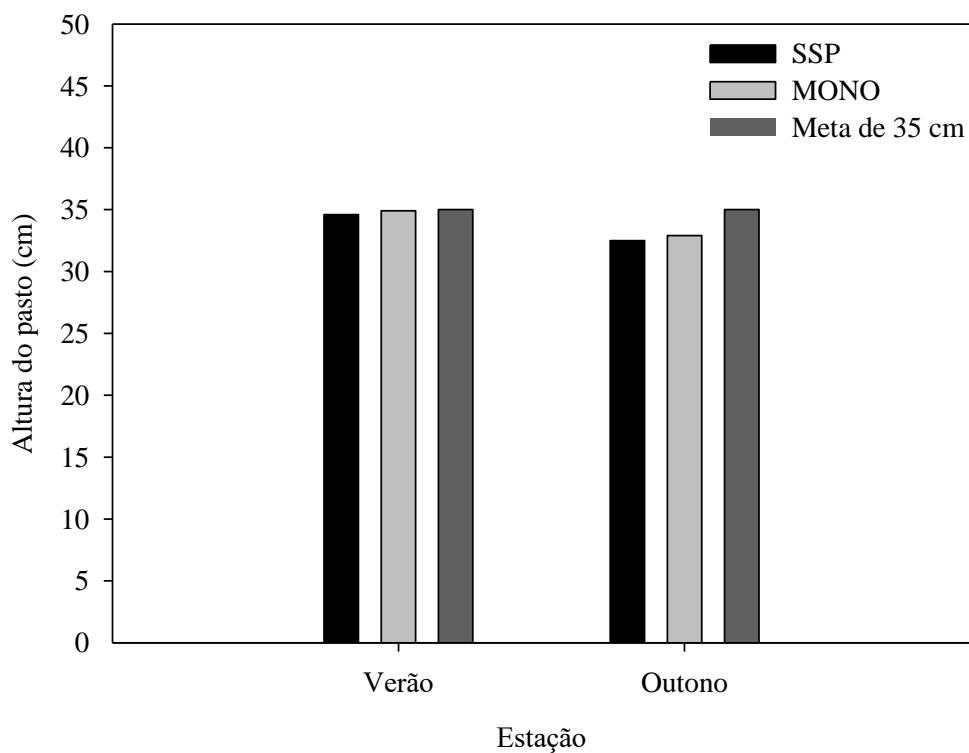


Figura 5 – Altura média do pasto no sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante o período experimental.

Densidade populacional de perfilhos, massa seca total e verde, densidade volumétrica da massa seca total e verde e composição morfológica da forragem

Houve interação significativa entre os sistemas e estações para as variáveis densidade populacional de perfilhos, massa seca total e verde e densidades volumétricas da massa seca total e verde da forragem (Tabela 1). O MONO apresentou maior densidade populacional de perfilhos ($p = 0,0044$), maior massa seca total ($p = 0,0051$), maior massa seca verde ($p = 0,0335$), maior densidade volumétrica da massa seca total ($p = 0,0006$) e maior densidade volumétrica da massa seca verde da forragem ($p = 0,0292$) em relação ao SSP durante o verão.

Tabela 1 – Densidade populacional de perfilhos, massa seca total, massa seca verde, densidade volumétrica da massa seca total e densidade volumétrica da massa seca verde de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO), durante o período experimental

Estação	Sistema		<i>p</i> -valor ¹	E.P.M.
	SSP	MONO		
Densidade populacional de perfilhos (perfilhos m ⁻²)				
Verão	657 Ab	819 Aa	0,0044	30,50
Outono	594 Ba	638 Ba		
Massa seca total (kg ha ⁻¹)				
Verão	2.478 Ab	3.894 Aa	0,0051	116,06
Outono	1.868 Ba	2.390 Ba		
Massa seca verde (kg ha ⁻¹)				
Verão	1.999 Ab	2.845 Aa	0,0335	116,31
Outono	1.431 Ba	1.714 Ba		
Densidade volumétrica da massa seca total (kg cm ha ⁻¹)				
Verão	71,6 Ab	111,5 Aa	0,0006	3,14
Outono	57,6 Bb	72,7 Ba		
Densidade volumétrica da massa seca verde (kg cm ha ⁻¹)				
Verão	57,9 Ab	81,3 Aa	0,0292	3,30
Outono	44,1 Ba	52,2 Ba		

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. ¹Probabilidade de efeito significativo devido à interação entre a estação e o sistema ($p < 0,01$; $p < 0,05$). E.P.M. = erro padrão da média.

Para essas variáveis, o MONO apresentou valores maiores que o SSP no verão, mas no outono não houve diferença entre os sistemas, com exceção da densidade volumétrica da massa seca total da forragem, que foi menor no SSP. Ambos os sistemas apresentaram menores valores para essas variáveis no outono em relação ao verão.

A percentagem de perfilhos vegetativos e reprodutivos dos pastos de *B. decumbens* foram influenciadas ($p = 0,0072$) pela estação do ano (Figura 6). Maior percentagem de perfilhos vegetativos foi observada no outono (94,58%) quando comparado ao verão (88,80%). Maior percentagem de perfilhos reprodutivos foi verificada no verão (11,19%) quando comparado ao outono (5,41%).

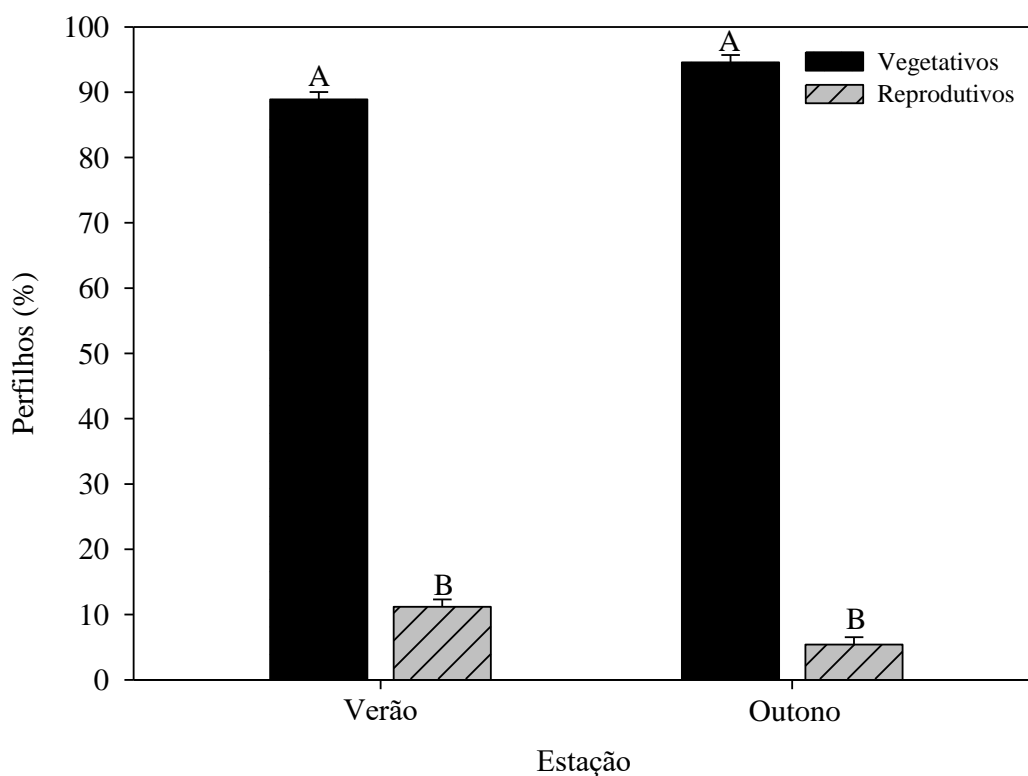


Figura 6 – Percentagem de perfilhos vegetativos e reprodutivos do pasto de *B. decumbens* durante o período experimental. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes em cada estação, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. Barras representam o erro padrão da média.

A massa seca de colmo foi influenciada ($p = 0,0049$) pela interação entre os sistemas e estações do ano (Tabela 2). O valor foi maior no MONO quando comparado ao SSP no verão. Não houve diferença entre os sistemas no outono. Ambos os sistemas apresentaram maior massa seca de colmo no verão em relação ao outono. A massa seca de lâmina foliar foi influenciada pela interação entre a estação do ano e o ano experimental ($p = 0,0062$) (Tabela 2). O valor foi maior no primeiro ano quando comparado ao segundo ano no verão. No entanto, não houve diferença entre os anos no outono. No primeiro ano, a massa seca de lâmina foliar foi maior no verão em relação ao outono. Não houve diferença entre as estações no segundo ano. A massa seca da lâmina foliar também variou entre sistema ($p = 0,0106$), com maior valor no MONO (947 kg ha^{-1}) do que no SSP (716 kg ha^{-1}).

Tabela 2 – Massa seca de colmo e massa seca de lâmina foliar (kg ha^{-1}) de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante o período experimental

Estação	Sistema		p -valor ¹	Ano		p -valor ¹
	SSP	MONO		2014/2015	2015/2016	
	Massa seca de colmo			Massa seca de lâmina foliar		
Verão	1.194 Ab (82,59)	1.783 Aa (85,59)	0,0049	1.122 Aa (65,43)	742 Ab (30,11)	0,0062
Outono	802 Ba (82,59)	880 Ba (85,59)		784 Ba (65,43)	678 Aa (30,11)	

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. ¹Probabilidade de efeito significativo devido à interação entre estação e sistema ($p < 0,01$) e estação e ano ($p < 0,01$). Valores entre parênteses representam o erro padrão da média.

A massa seca de forragem morta foi influenciada pela interação entre sistema e ano experimental ($p = 0,0096$) e entre estação do ano e ano experimental ($p = 0,0005$)

(Tabela 3). O MONO apresentou maior massa seca de forragem morta quando comparado ao SSP em ambos os anos experimentais. Menor valor foi observado no primeiro ano para ambos os sistemas, quando comparado ao segundo ano. No primeiro ano, não houve diferença entre as estações, mas um menor valor foi observado no outono do que no verão no segundo ano. Maior valor foi observado no segundo ano em relação ao primeiro, independentemente da estação do ano.

Tabela 3 – Massa seca de forragem morta (kg ha^{-1}) de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO), durante o período experimental

Ano	Sistema		<i>p</i> -valor ¹	Estação		<i>p</i> -valor ¹
	SSP	MONO		Verão	Outono	
2014/2015	382 Bb (54,35)	597 Ba (54,35)	0,0096	517 Ba (54,35)	462 Ba (54,35)	0,0005
2015/2016	607 Ab (54,35)	1.128 Aa (54,35)		1.115 Aa (54,35)	621 Ab (54,35)	

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. ¹Probabilidade de efeito significativo devido à interação entre o ano e o sistema ($p < 0,01$) e ano e época ($p < 0,01$). Valores entre parênteses representam o erro padrão da média.

Valor nutritivo

O teor de PB foi influenciado ($p = 0,0373$) pela interação entre sistema e ano experimental (Figura 7). Maiores valores de PB foram observados no SSP (109 e 128 g kg^{-1}) do que no MONO (87 e 96 g kg^{-1}), em 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente. Houve um aumento de 25% e 33% na concentração de PB no SSP em relação ao MONO durante o primeiro e o segundo ano experimental, respectivamente. Ambos os sistemas apresentaram menor PB no primeiro ano experimental.

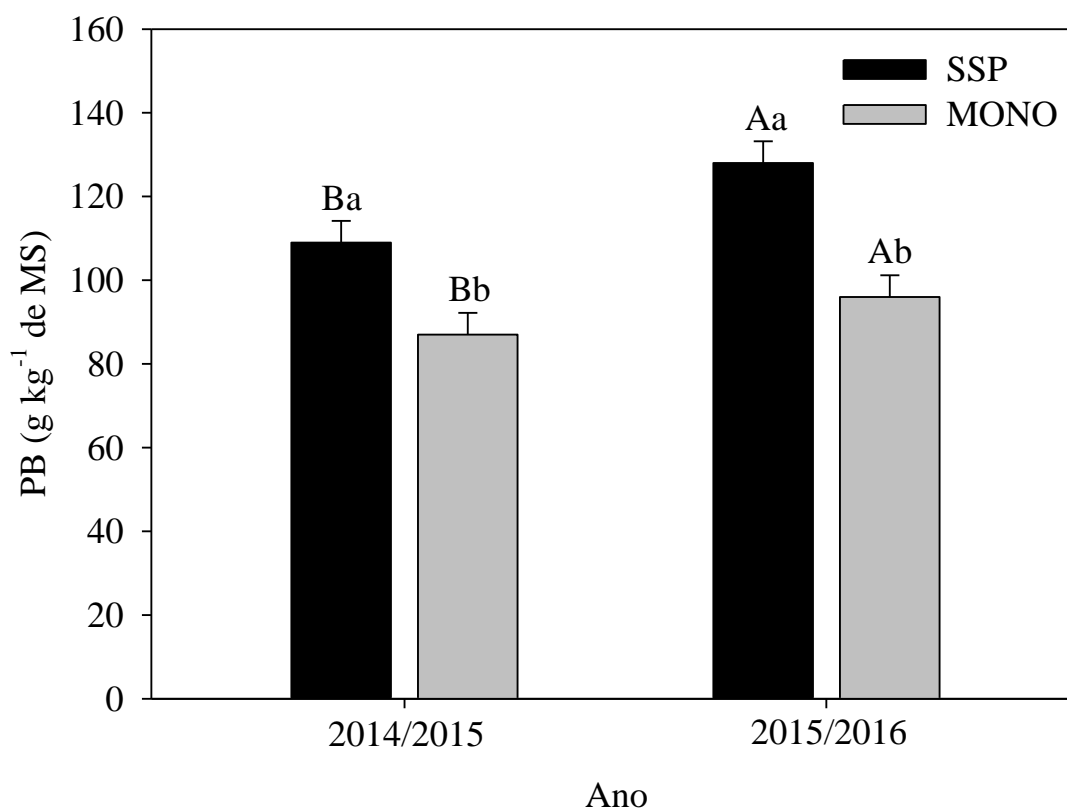


Figura 7 – Proteína bruta (PB) de *B. decumbens* no sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante os dois anos do período experimental. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas comparando os sistemas em cada ano e maiúsculas comparando cada sistema nos anos, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. Barras representam o erro padrão da média.

O teor de FDN na forragem foi influenciado apenas pelo sistema ($p = 0,0016$), com menor valor para o SSP ($658,1 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao MONO ($676,6 \text{ g kg}^{-1}$). Os teores de FDA e LDA foram influenciados ($p = 0,0274$, $p = 0,0079$, respectivamente) pela interação entre sistema e estação do ano (Figura 8a e 8b). O teor de FDA não variou entre os sistemas no verão. No entanto, houve uma redução na FDA no SSP quando comparado ao MONO no outono. O teor de LDA não variou entre sistema, independentemente da estação do ano. Teores mais baixos foram observados durante o outono em comparação ao verão em ambos os sistemas. A DIVMS não variou ($p =$

0,5959) com o sistema, época ou ano experimental, nem com a interação entre esses fatores (valor médio de 653,6 g kg⁻¹).

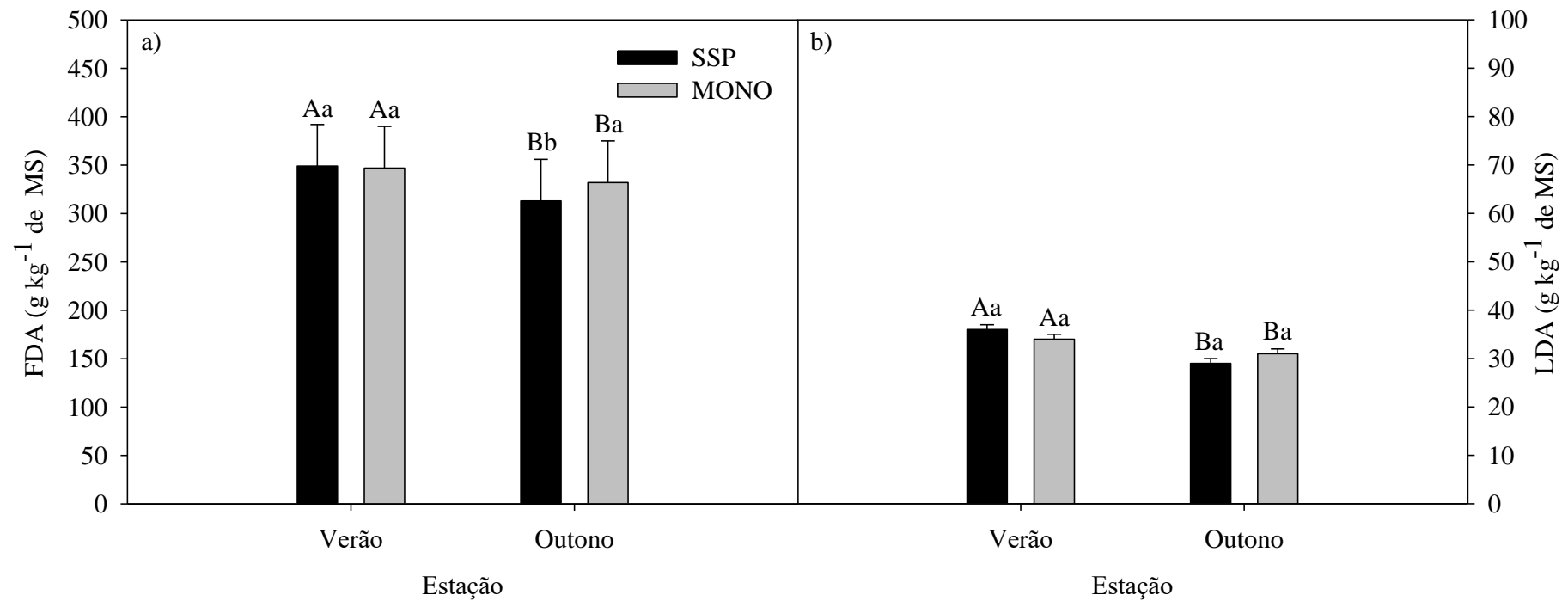


Figura 8 – Fibra insolúvel em detergente ácido (FDA; 8a) e lignina em detergente ácido (LDA; 8b) de *B. decumbens* no sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) no verão e outono, durante o período experimental. Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas comparando os sistemas em cada estação e maiúsculas comparando cada sistema nas estações, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. Barras representam o erro padrão da média.

Taxa de lotação e desempenho animal

A TL, expressa em unidades animais por área, e o ganho por área (GPA) foram influenciados apenas pelo sistema ($p = 0,0236$, $p = 0,0123$, respectivamente) (Tabela 4). O MONO proporcionou aumento de 7% na TL e 13% no GPA em relação ao SSP durante os dois períodos experimentais.

Tabela 4 – Taxa de lotação (TL) e ganho de peso por área (GPA) de novilhas leiteiras (Holandês x Gir) em pasto de *B. decumbens* no sistema (SSP) e monocultivo (MONO), durante o período experimental

Variável	Sistema		p-valor ¹	E.P.M.
	SSP	MONO		
TL (UA ha ⁻¹)	1,4 B	1,5 A	0,0236	0,02
GPA (kg ha ⁻¹)	96,0 B	110,6 A	0,0123	2,76

Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas na linha, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade.

¹Probabilidade de efeito significativa devido ao sistema ($p < 0,05$).

E.P.M. = erro padrão da média.

O GMD variou com a interação entre sistema e ano experimental, e com a estação do ano e o ano experimental ($p = 0,0122$, $p = 0,0026$, respectivamente) (Tabela 5). O GMD não variou entre os sistemas no primeiro ano. No segundo ano, os animais do MONO apresentaram maior GMD do que no SSP. Houve maior GMD no segundo ano quando comparado ao primeiro ano no MONO, enquanto não houve diferença entre os anos para o SSP. No primeiro ano experimental, maior GMD foi observado no outono em relação ao verão. No segundo ano, não houve diferença no GMD entre as estações. No verão, o GMD foi menor no primeiro ano em comparação ao segundo ano. No outono, não houve diferença entre os anos de avaliação no GMD.

Tabela 5 – Ganho de peso médio diário (GMD; kg dia⁻¹) de novilhas leiteiras (Holandês x Gir) em pasto de *B. decumbens* no sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante o período experimental

Ano	Sistema		<i>p</i> -valor ¹	Estação		<i>p</i> -valor ¹
	SSP	MONO		Verão	Outono	
2014/2015	0,483 Aa (0,01)	0,483 Ba (0,01)	0,0122	0,400 Bb (0,01)	0,566 Aa (0,01)	0,0026
2015/2016	0,466 Ab (0,02)	0,583 Aa (0,02)		0,516 Aa (0,02)	0,533 Aa (0,02)	

Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, são diferentes por PDIFF a 5% de probabilidade. ¹Probabilidade de efeito significativo devido à interação entre o ano e o sistema de produção ($p < 0,05$) e ano e época ($p < 0,01$). Valores entre parênteses representam o erro padrão da média.

DISCUSSÃO

No SSP, aumento do GMD era esperado devido ao maior teor de PB na forragem. No entanto, ao contrário das expectativas, resposta oposta foi observada no segundo ano do estudo. A hipótese de que o sombreamento mais intenso no SSP afetaria negativamente a produtividade das pastagens, levando a uma menor TL e GPA. Esta hipótese foi baseada na observação de que o crescimento das árvores ao longo do tempo reduziria progressivamente a incidência de radiação disponível para o crescimento da *B. decumbens*.

Embora o SSP proporcione melhor conforto térmico (Murgueitio et al., 2011) e maior teor de PB, o sombreamento intenso reduziu a massa seca da forragem e a densidade volumétrica da forragem, o que pode ter influenciado negativamente o comportamento ingestivo dos animais. Nos anos anteriores, Paciullo et al. (2009) observaram, nos mesmos sistemas, maior ganho de peso diário em novilhas leiteiras que pastejavam no SSP do que no MONO ou ganho similar entre sistemas (Paciullo et

al., 2011). Os autores atribuíram o maior ganho por novilha ao maior teor de PB no SSP. Naquela época, o SSP e MONO apresentavam a mesma massa de forragem. Apesar do maior teor de PB no SSP no presente estudo, nenhum benefício foi observado para o GMD, indicando que a sombra intensa neutralizou os potenciais benefícios no SSP, o que pode ter limitado o ganho de peso das novilhas.

O maior GPA no MONO em relação ao SSP pode ser explicado pela maior massa seca total e verde e densidade volumétrica total e verde da forragem, aumentando a capacidade de suporte da pastagem. Embora o sombreamento intenso tenha influenciado negativamente as características produtivas do pasto no SSP, as reduções na TL e GPA no SSP em relação ao MONO não foram de grande magnitude (6,0% e 13,2%, respectivamente). O manejo extensivo adotado pode ter contribuído para as pequenas diferenças de magnitude na capacidade de suporte e no GPA em favor do MONO. No estudo de Fernandes (2016), desenvolvido na mesma área experimental deste estudo, sugeriu-se que a redução da produção de forragem e animal no SSP está diretamente relacionado ao nível de intensificação do sistema. Pastos cultivados no SSP que não são utilizados de forma intensiva e com baixo uso de insumos apresentam maior resiliência quando submetidos à limitação de radiação incidente. Por esta razão, pastos em SSP podem apresentar uma queda menos intensa na produtividade e levar um período maior de tempo para refletir os efeitos negativos da redução da radiação para a gramínea. Apesar do manejo extensivo da pastagem, o GMD em ambos sistemas podem ser considerados satisfatórios, uma vez que os animais foram exclusivamente alimentados em pasto. Novilhas leiteiras mestiças devem ganhar $0,400 \text{ kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ se a meta for a concepção aos 24 meses de idade (Gomide et al., 2010).

Uma importante variável da estrutura do pasto que influencia a massa de forragem e o desempenho animal é a densidade populacional de perfilhos. O menor valor no SSP está diretamente relacionado ao sombreamento imposto pelas árvores no pasto (Abraham et al., 2014). O pasto sob sombra prioriza o crescimento dos perfilhos existentes, em detrimento da formação de novos perfilhos, inibindo o desenvolvimento das gemas basais que darão origem a novos perfilhos e, conseqüentemente, reduzindo a densidade populacional de perfilhos. A percentagem média de sombreamento no SSP de 51% pode ser considerada intensa para *B. decumbens*, segundo outros autores, que verificaram reduções no perfilhamento com sombreamento (Devkota et al., 2009; Gobbi et al., 2009).

A redução da densidade populacional dos perfilhos observada sob sombreamento, afetou as massas secas total e verde da forragem, que foram maiores no MONO do que no SSP, durante o verão. Reduções nas produções de forragem em sistemas sombreados também foram observadas por outros autores (Bosi et al., 2014; Neel & Belesky, 2017; Santos et al., 2016). A forte restrição da RFA compromete a capacidade fotossintética das plantas, reduzindo a produção dos componentes da massa de forragem (Santiago-Hernández et al., 2016).

A redução na densidade volumétrica da massa seca total da forragem no verão e outono no SSP em relação ao MONO, ocorreu pelo fato de que a massa seca total foi menor no SSP, considerando que a altura do pasto no momento da colheita foi a mesma para ambos os sistemas. A adequação no ajuste da taxa de lotação foi uma estratégia que ajudou a manter a meta pré-estabelecida de altura em lotação contínua. A baixa densidade volumétrica da forragem observada no SSP pode diminuir a massa do bocado e a ingestão de forragem pelos animais, resultando em comprometimento da produção animal no SSP. Lopes et al. (2017) observaram redução na densidade

volumétrica da forragem com o aumento no nível de sombreamento, corroborando os resultados do presente estudo.

É interessante observar que, apesar da maior massa seca de colmo no MONO, as percentagens de colmo na massa seca total foram praticamente iguais entre os sistemas, as quais foram 47% e 46% de colmos na massa seca para o SSP e MONO, respectivamente. Os resultados obtidos a partir do cálculo da percentagem de folhas na massa seca total, revelaram que a percentagem de lâminas foliares na massa seca foi 21% maior no SSP do que no MONO (29% vs. 24% lâminas foliares, respectivamente, para SSP e MONO). De fato, o sombreamento induz mudanças morfológicas no pasto para aumentar a captação de luz (Paciullo et al., 2017). Este resultado pode estar associado à pequena magnitude das diferenças entre os sistemas no ganho de peso das novilhas, pois a maior proporção de lâminas foliares pode ter contribuído positivamente para a nutrição animal no SSP, apesar da menor massa de forragem, densidade populacional de perfilhos e densidade volumétrica da forragem neste sistema em relação ao MONO. O maior investimento da planta no componente foliar sob sombreamento pode contribuir para a maior proporção de lâminas foliares no SSP. Além disso, deve-se considerar também que plantas que se desenvolvem em ambientes sombreados podem apresentar maior longevidade foliar, mantendo-as verdes por um período mais longo (Lopes et al., 2017). Assim, como as folhas permanecem verdes por mais tempo, há menor renovação de tecidos na planta, contribuindo para menor massa seca de forragem morta no SSP. Neste caso, a maior proporção de lâminas foliares no SSP pode estar mais associada à menor massa seca de forragem morta do que especificamente à maior síntese de tecido foliar.

O MONO apresentou maior massa seca de forragem morta quando comparado ao SSP, independentemente do ano experimental. Pastos cultivados em MONO,

apresentam taxas fotossintéticas superiores aos pastos sombreados, proporcionando acelerado desenvolvimento e morte dos tecidos. A *B. decumbens* é uma gramínea tropical do metabolismo C₄ que é altamente responsiva às condições edafoclimáticas. Por outro lado, plantas cultivadas na sombra tendem a apresentar atraso na maturidade morfológica de quatro a seis dias em relação às plantas cultivadas no MONO (Neel, et al., 2016). Nesse caso, as plantas tendem a ser mais jovens fisiologicamente, o que prolonga a fase vegetativa, diminuindo a senescência e, conseqüentemente, a massa seca de forragem morta (Lopes et al., 2017).

O maior teor de PB no SSP comparado ao MONO no presente estudo é consistente com resultados encontrados em outros estudos (Abraham et al., 2014; Neel & Belesky, 2017; Paciullo et al., 2017) e representa vantagem nutricional para o SSP, embora nenhum benefício aparente tenha sido observado para o desempenho animal. Lazzarini et al. (2009) sugeriram valores de PB de 70 g kg⁻¹ de MS para novilhas mestiças, pelo menos para evitar comprometer o crescimento microbiano ruminal e, conseqüentemente, para o uso eficiente dos carboidratos fibrosos da forragem. O teor de PB em ambos os sistemas foi sempre superior a 70 g kg⁻¹ de MS, o que provavelmente contribuiu para otimizar a atividade microbiana, o consumo de forragem, a digestibilidade e o desempenho animal.

O aumento da PB em ambientes sombreados pode estar relacionado tanto ao efeito direto do sombreamento sobre as características fisiológicas da forrageira quanto ao efeito da dinâmica do nitrogênio (N₂) no solo. Belesky et al. (2006) relatam um mecanismo de atraso no desenvolvimento ontogenético em plantas sombreadas. Com isso, as plantas tendem a ser mais jovens fisiologicamente, mantendo níveis metabólicos mais baixos. Wilson & Ludlow (1991) argumentam que a redução da luz provoca uma diminuição na fotossíntese, resultando em aumento na concentração de

N. Dale & Causton (1992) relacionam o maior teor de N em plantas sombreadas com a teoria da concentração em função do aumento da PB na planta, ou seja, com o sombreamento, há redução na produção de forragem, e a quantidade de N absorvida pode exceder a exigência metabólica, aumentando o teor de N, sem aumento na produção de forragem. Outro mecanismo pode estar relacionado à maior conservação da umidade no solo e, conseqüentemente, maior mineralização e decomposição da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de N para a forrageira (Wilson, 1996). A presença das leguminosas arbóreas *A. mangium* e *M. artemisiana*, que têm a capacidade de fixar o N atmosférico e incorporá-lo ao solo, também pode ter contribuído para o aumento da mineralização da matéria orgânica no SSP, aumentando o fluxo e a disponibilidade de N no solo e, conseqüentemente, o teor de PB na forragem no SSP (Xavier et al., 2014).

Enquanto o teor de PB geralmente aumenta com o sombreamento, os de FDN, FDA, DIVMS e LDA não apresentam padrão definido, e os resultados dependem das espécies, época do ano e percentagem de sombreamento. Neste estudo, o menor teor de FDN no SSP provavelmente pode estar relacionado à diminuição de fotoassimilados, resultando em parede celular mais fina em relação ao MONO (Kephart & Buxton, 1993). A DIVMS não variou com o sistema e pode ser explicado pela similaridade nos níveis de FDA e LDA encontrados entre os sistemas. No entanto, houve redução nos teores de FDA e LDA em ambos os sistemas no outono, o que está associado à diminuição do RFA, temperatura e precipitação, reduzindo o crescimento da forrageira.

Os efeitos das estações do ano nas variáveis estudadas foram relacionados às variações climáticas inerentes a cada estação. A similaridade do GMD no primeiro ano pode ser explicada pela menor disponibilidade de chuvas, limitando a produção de

forragem e possivelmente a ingestão de forragem pelos animais em ambos os sistemas. Condições climáticas adversas tendem a equalizar os sistemas, mesmo considerando o sombreamento intenso no SSP. No segundo ano, o maior GMD foi observado no MONO. Aparentemente, nenhuma característica avaliada poderia explicar esse resultado, principalmente porque houve ajuste da TL, de acordo com a meta de altura do pasto. No entanto, a maior precipitação no segundo ano (Figura 1) pode ter favorecido as características estruturais do pasto no MONO não avaliadas, favorecendo o consumo de forragem.

O menor GMD observado no verão do primeiro ano, quando comparado ao outono, pode ser explicado pela menor disponibilidade de chuvas durante os meses de janeiro e fevereiro, resultando em redução na produção de forragem e, conseqüentemente, limitando a ingestão de forragem pelos animais. No segundo ano, quando houve melhor distribuição das chuvas, não houve diferença no GMD entre as estações do ano. Além disso, o intenso florescimento da *B. decumbens* no verão pode ter influenciado negativamente o comportamento ingestivo dos animais. De fato, uma maior proporção de perfilhos reprodutivos foi observada durante o verão, como observado por (Santos et al., 2011). Embora a *B. decumbens* apresente florescimento ao longo do ano, caracterizando-a como uma planta de dia neutro, esse fenômeno é geralmente mais pronunciado em dias longos de verão (Fonseca & Martuscello, 2010b). Também é possível associar a maior percentagem de perfilhos reprodutivos no verão ao florescimento gradual do pasto entre dezembro e meados de janeiro de cada ano experimental. Enquanto o meristema apical de muitos perfilhos permaneceu intacto durante o pastejo, houve intenso florescimento dos perfilhos ainda não pastejados. Nestes perfilhos, houve maior prioridade na alocação de fotoassimilados para emissão de inflorescência do que para crescimento vegetativo. A partir de então,

com a estabilização da altura e eliminação da maioria dos meristemas apicais, observou-se redução no número de perfilhos reprodutivos, principalmente no final do verão e ao longo do outono. A redução na percentagem de perfilhos reprodutivos no outono também pode ser explicada pelas condições climáticas menos favoráveis nesta estação.

A diferença significativa na densidade populacional de perfilhos entre os sistemas, no verão, foi relacionada às melhores condições de temperatura, chuva e luminosidade no verão, favorecendo o perfilhamento no MONO, mas com menor impacto no SSP, devido à limitação de RFA para o pasto. No outono, nenhuma diferença significativa foi detectada. Este fato pode ser atribuído às condições climáticas menos favoráveis associadas a esta estação, que influenciaram negativamente o perfilhamento em ambos os sistemas e resultaram na ausência de diferença na população de perfilhos entre os sistemas.

Embora os valores de massas de forragem tenham sido maiores no MONO durante o verão, não foram observadas diferenças entre os sistemas no outono, o que está associado à sazonalidade da produção de forrageiras tropicais devido à limitação das condições climáticas. Gobbi et al. (2009) não observaram diferença na massa da forragem de *B. decumbens* a 50% e 70% nos níveis de sombreamento artificial e em pleno sol durante o período de reduzida disponibilidade de recursos de crescimento.

CONCLUSÃO

Em sistema silvipastoril de longo prazo, a forte competição por luz entre o componente arbóreo e o pasto de *Brachiaria decumbens* resulta em redução na produtividade da forragem quando comparada ao monocultivo.

O maior teor de proteína bruta e menor de fibra na forragem no sistema silvipastoril proporciona desempenho animal satisfatório mesmo com redução na produção de forragem com a restrição intensa de luz ao considerar sistemas de produção extensivos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E.M.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M.; KOSTOPOULOU, P.; KARATASSIOU, M.; ANJALANIDOU, K.; KATSOUTA, C. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v.88, p.287–299, 2014.
- ALLEN, V.G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E.J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; McLVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETTERS, A.; SANDERSON, M. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v.66, p.2–28, 2011.
- ALVES, B.J.R.; MADARI, B.E.; BODDEY, R.M. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.1–4, 2017.
- AOAC. **AOAC Official Methods of Analysis**. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. (Vol. 15th, pp. 136–138), 1990.
- BALISCEI, M.A.; BARBOSA, O.R.; SOUZA, W.; COSTA, M.A.T.; KRUTZMAN, A.; QUEIROZ, E.O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.35, p.49–56, 2013.
- BARNES, P.; WILSON, B.R.; REID, N.; BAYERLEIN, L.; KOEN, T.B.; OLUPOT,

- G. Examining the impact of shade on above-ground biomass and normalized difference vegetation index of C₃ and C₄ grass species in North-Western NSW, Australia. **Grass and Forage Science**, v.70, p.324–334, 2015.
- BELESKY, D.P.; CHATTERTON, N.J.; NEEL, J.P.S. *Dactylis glomerata* growing along a light gradient in the central appalachian region of the eastern USA: III. Nonstructural carbohydrates and nutritive value. **Agroforestry Systems**, v.67, p.51–61, 2006.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C.; SANTOS, P.M.; NICODEMO, M.L.F. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.449–456, 2014.
- DALE, M. P.; CAUSTON, D.R. The ecophysiology of *Veronica chamaedrys*, *V. montana* and *V. officinalis*. IV. Effects of shading on nutrient allocations -a field experiment. **Journal of Ecology**, v.80, p.517–526, 1992.
- DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agroforestry Systems**, v.76, p.363–374, 2009.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.
- FERNANDES, P.B. (2016). **Sistema silvipastoril com *Brachiaria decumbens* em pecuária de leite**. 2016. 61f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.
- FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas forrageiras**. Viçosa: publishing company UFV, 2010b. 537p.

- GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; NETO, A.F.G.; PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1645–1654, 2009.
- GOMIDE, C.A.; PACIULLO, D.S.C.; ALEXANDRINO, E. **Produção de novilhas leiteiras em manejo intensivo de pastagem**. In: Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Queiroz, A. C., Mizubuti, I. Y. (Eds.), *Novilhas Leiteiras (Dairy heifers)*. Fortaleza, pp. 373–410, 2010.
- GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity. **Tropical Grasslands**, v.42, p.75–87, 2008.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C₃ and C₄ perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, p.831–837, 1993.
- KYRIAZOPOULOS, A. P.; ABRAHAM, E.M.; PARISSI, Z.M.; KOUKOURA, Z.; NASTIS, A.S. Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments. **Grass and Forage Science**, v.68, p.72–82, 2013.
- LAZZARINI, I.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C.B.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, F.A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.2021-2030, 2009.
- LOPES, C.M., PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C.; GOMIDE, C.A.M.; MORENZ, M.J.F.; VILELA, S.D.J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, p.225–233, 2017.

- LÓPEZ-CARRASCO, C.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, A.; SAN MIGUEL, A.; ROIG, S. The effect of tree cover on the biomass and diversity of the herbaceous layer in a Mediterranean dehesa. **Grass and Forage Science**, v.70, p.639–650, 2015.
- MÜLLER, M.D.; FERNANDES, E.N.; CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.D.F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na zona da mata mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.60, p.11–18, 2010.
- MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.1654–1663, 2011.
- NEEL, J.P.S.; BELESKY, D.P. Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. **Grass and Forage Science**, v.72, p.137–153, 2017.
- NEEL, J.P.S.; FELTON, E.E.D.; SINGH, S.; SEXSTONE, A.J.; BELESKY, D.P. Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. **Grass and Forage Science**, v.71, p.259–269, 2016.
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; FERNANDES, P.B.; ROCHA, W.S.D.; CASTRO, C. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, v.67, p.598–603, 2010.
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M., PIRES, M.F.Á.; Müller, M. D., & Xavier, D. F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v.141, p.166–172, 2011.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; MAURÍCIO, R.M.;

- FERNANDES, P.B.; MORENZ, M.J.F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v.72, p.590–600, 2017.
- PACIULLO, D.S.C.; LOPES, F.C.F.; MALAQUIAS JÚNIOR, J.D.; FILHO, A.V.; RODRIGUEZ, N.M.; MORENZ, M.J.F.; AROEIRA, L.J.M. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1528–1535, 2009.
- SANTIAGO-HERNÁNDEZ, F.; LÓPEZ-ORTIZ, S.; ÁVILA-RESÉNDIZ, C.; JARILLO-RODRÍGUEZ, J.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, P.; DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. **Agroforestry Systems**, v.90, p.339–349, 2016.
- SANTOS, D.C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V.B.; FRANÇA, A.F.S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.233, p.16–24, 2016.
- SANTOS, M.E.R., FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; CASTRO, M.R.S.; CARVALHO, V.V. Desfolhação de perfilhos em pasto de capim-braquiária sob lotação contínua. **Ciência Animal Brasileira**, v.12, p.241–249, 2011.
- SANTOS, M.E.R.; GOMES, V.M.; FONSECA, D.M.; ALBINO, R.L.; SILVA, S.P.; SANTOS, A.L. Número de perfilhos do capim-braquiária em regime de lotação contínua. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v.33, p.1–7, 2011.
- SOLLENBERGER, L.E.; CHERNEY, D.J.R. **Evaluating forage production and quality** (5 nd. ed.). The Science Grassland Agriculture. Iowa State University Press, Ames, IA, USA. v.2, p.97–110, 1995.

- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A Two-Stage Technique for the in Vitro Digestion of Forage Crops. **Grass and Forage Science**, v.18, p.104–111, 1963.
- 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**, v.74, p.3583–3597, 1991.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.47, p.1075–1093, 1996.
- WILSON, J.R.; LUDLOW, M.M. **Forages for Plantation Crops**. Proceeding of a workshop, Sanur Beach - The Plantation Crop Environment. In *ACIAR Proceedings*, p.168, 1991.
- WOLFINGER, R. **Covariance structure selection in general mixed models**. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, v.22, p.1079–1106, 1993.
- XAVIER, D.F.; LÉDO, F.J.S.; PACIULLO, D.S.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.99, p.45–62, 2014.

CAPÍTULO 2

Evolução temporal de um sistema silvipastoril: produtividade e valor nutritivo da forragem e desempenho animal

INTRODUÇÃO

Atualmente, muito se têm discutido sobre os impactos negativos da agropecuária nas mudanças climáticas globais. Uma das estratégias para mitigação das mudanças climáticas é a integração de árvores, pasto e animais na mesma área em sistema silvipastoril (SSP) (Nahed-Toral et., 2013). Esse sistema oferece benefícios ambientais, econômicos e sociais, como melhoria da fertilidade e aumento de estoque de carbono no solo (Murgueitio et al., 2011), aumento do teor de proteína bruta (PB) da forragem (Neel & Belesky, 2017), maior conforto animal e diversificação de renda na propriedade (Broom et al., 2013), sendo proposto como um sistema de produção sustentável (Paciullo et al., 2017).

No entanto, o manejo do pasto em SSP pode representar um grande desafio, resultante das diversas interações que ocorrem entre seus componentes. A disponibilidade de luz para o pasto em SSP influencia no crescimento e desenvolvimento da forrageira cultivada no sub-bosque (Dodd et al., 2005). De fato, uma das principais limitações do SSP à medida que a intensidade de luz diminui com o avanço da idade das árvores é a redução da densidade de fluxo de fótons e da relação vermelho: vermelho distante da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atinge o sub-bosque, resultando em alterações morfofisiológicas na planta. Essas alterações modificam o padrão de alocação de fotoassimilados e, conseqüentemente, a produção

e valor nutritivo da forragem. Geralmente, a redução da intensidade luminosa resulta em aumentos da área foliar específica, redução do perfilhamento e da produção de forragem e aumento do teor de PB (Abraham et al., 2014; Barnes et al., 2015; Santos et al., 2016), enquanto os teores de fibras e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) apresentam resultados contraditórios (Gobbi et al., 2009; Soares et al., 2009).

A *Brachiaria decumbens* é uma espécie de gramínea perene e tropical, com rota fotossintética C₄, muito utilizada nos sistemas de produção e tem sido relatada como tolerante a condições moderadas de sombreamento (Paciullo et al., 2007; Guenni et al., 2008). Além disso, apresenta boa produtividade e valor nutritivo, além de ser uma espécie forrageira que se adapta a solos com baixa utilização de fertilizantes, sendo indicada para recuperação de áreas degradadas. No entanto, estudos de longo prazo conduzidos em SSP para avaliar a resposta animal são raros na literatura. Neste capítulo propõe analisar uma série de quatro experimentos realizados na mesma área experimental com contribuição para avaliações de longo prazo com produção animal em SSP.

Ao longo do tempo, espera-se que o aumento do teor proteico da forragem, no SSP, influencia positivamente o desempenho individual de novilhas leiteiras e que o aumento do sombreamento limita a produção de forragem, reduzindo a capacidade de suporte e a produção animal por área. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar as características produtivas e valor nutritivo da forragem de *B. decumbens* e desempenho de novilhas leiteiras em SSP e monocultivo (MONO, *B. decumbens* em pleno sol), durante quatro experimentos compreendidos entre os anos de 2003 e 2016, os quais, analisados conjuntamente, caracterizaram os sistemas do 6º ao 18º ano após o estabelecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local do estudo

O experimento foi realizado no Campo Experimental José Henrique Bruschi, pertencente à Embrapa Gado de Leite, no município de Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil. As coordenadas geográficas do local são 21°33'22"S, 43°06'15"W e 410 m de altitude. O clima da região de acordo com a classificação Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico). As temperaturas e precipitações pluviométricas observadas durante os experimentos estão apresentadas na Figura 1.

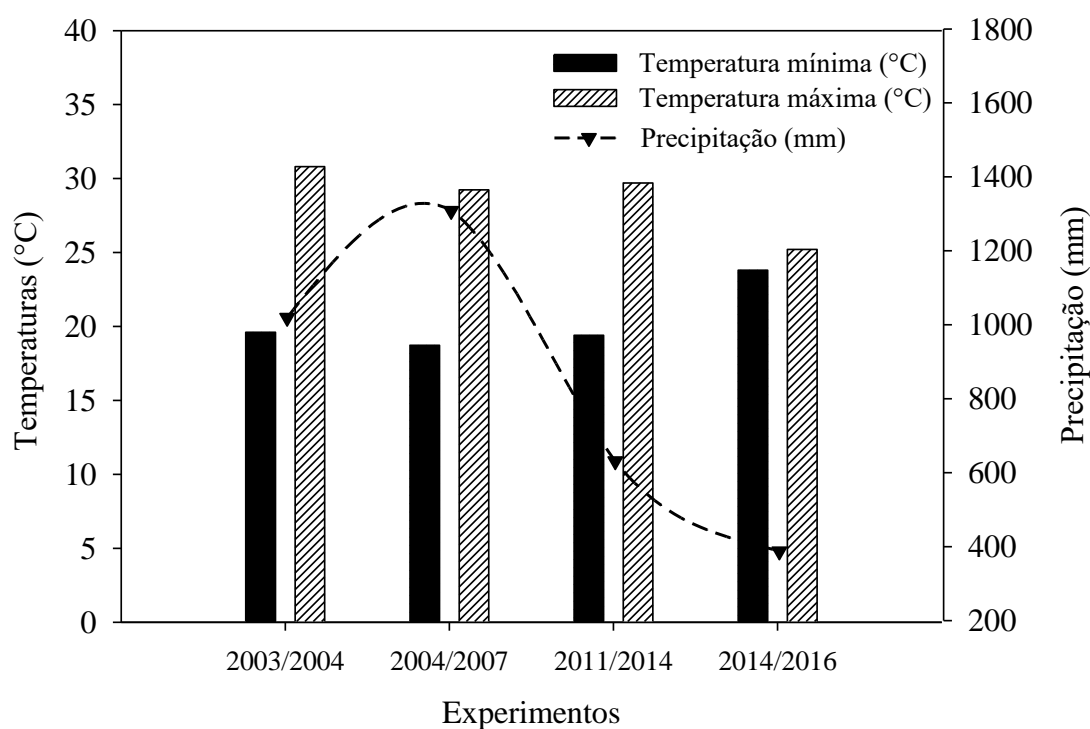


Figura 1 – Temperaturas médias e precipitação pluvial na área experimental durante a época chuvosa de quatro experimentos.

Este estudo abrangeu a análise conjunta dos dados de quatro experimentos realizados durante as épocas chuvosas (dezembro a maio de cada ano), entre 2003 a 2016, totalizando 13 anos experimentais. Cada um dos experimentos, foi conduzido,

respectivamente, de 2003 a 2004; 2004 a 2007; 2011 a 2014 e 2014 a 2016. A área experimental onde as avaliações foram realizadas é de topografia montanhosa, com declividade média de 30%. O solo na área experimental é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico, com textura argilosa e relevo ondulado (Embrapa, 2013). A amostragem do solo foi realizada à profundidade de 0-20 cm, para caracterização química do solo. Os valores médios das análises químicas do solo realizadas nos experimentos entre os anos de 2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016 foram, respectivamente: pH (H₂O): 4,6; 4,6; 4,5 e 4,7; fósforo (P Mehlich-1) 4,4; 4,4; 2,6 e 2,8 mg dm⁻³; alumínio (Al) 0,7; 0,7; 0,8 e 0,8 cmol_c dm⁻³; potássio (K) 0,1; 0,1; 0,1 e 0,1 cmol_c dm⁻³; cálcio (Ca) 0,4; 0,3; 0,3 e 0,8 cmol_c dm⁻³; magnésio (Mg) 0,1; 0,1; 0,2 e 0,3 cmol_c dm⁻³.

Histórico da área do estudo

A área experimental foi implantada em novembro de 1997, com a gramínea tropical *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk, estabelecida à lanço no MONO e no SSP em faixas de 30 m de largura, alternadas com faixas de 9 m, com as espécies arbóreas *Eucalyptus grandis*, além das leguminosas arbóreas *Acacia mangium*, *Acacia angustissima* e *Mimosa artemisiana*, plantadas em nível, o que coincidiu com o alinhamento no sentido norte-sul (Figura 2). As árvores foram dispostas na forma de renques arranjados com quatro linhas, com espaçamento de 3 x 3 m entre árvores, totalizando 342 árvores/ha. As leguminosas arbóreas foram utilizadas com a finalidade de fornecimento de sombra e biomassa rica em nitrogênio e outros nutrientes e o eucalipto com a finalidade de sombra e produção de madeira. As espécies arbóreas foram plantadas alternadamente nas linhas de plantio.

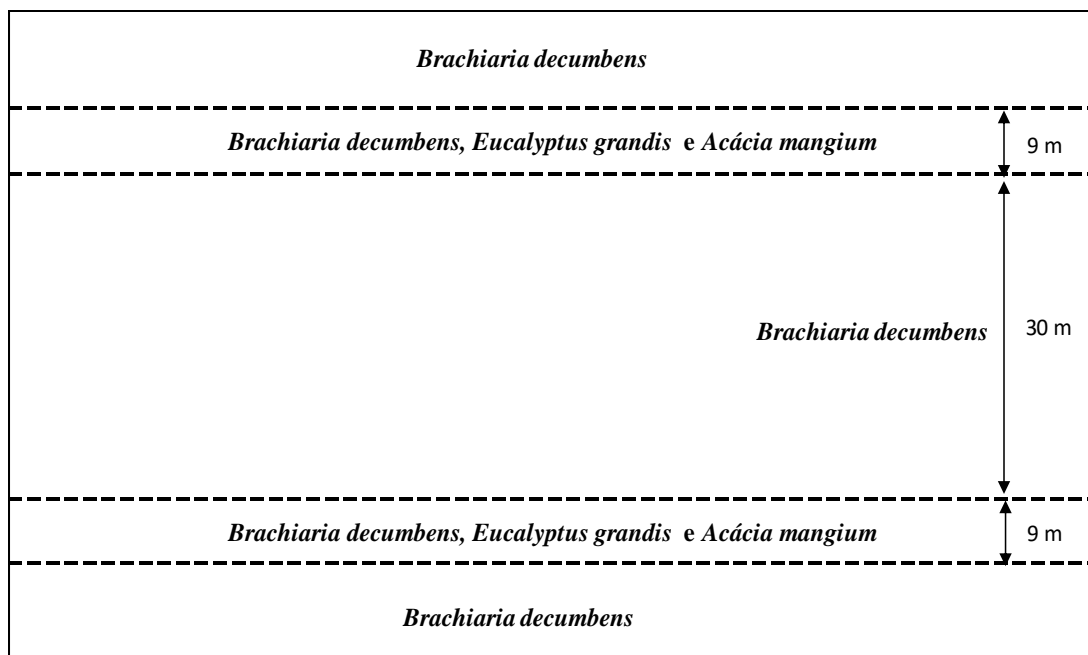


Figura 2 – Disposição dos componentes arbóreos e forrageira no sistema silvipastoril.

Antes do plantio das espécies arbóreas, aplicou-se, de acordo com análise de solo, 1.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 600 kg ha⁻¹ de fosfato natural, 250 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 30 kg ha⁻¹ de micronutrientes (FTE BR-16). A adubação para o plantio das mudas de *A. mangium* e *M. artemisiana* foi realizada com aplicação de 50 g de calcário dolomítico, 80 g de fosfato natural, 100 g de superfosfato simples, 25 g de cloreto de potássio e 10 g de FTE BR-16, por cova e, para a espécie *E. grandis*, 75 g de sulfato de amônio, 225 g de superfosfato simples e 15 g de cloreto de potássio. Para implantação do monocultivo de *B. decumbens*, seguiu-se o protocolo de preparo do solo, aplicação de corretivos e fertilizantes semelhante ao adotado no SSP, uma vez que as áreas eram contíguas e apresentavam a mesma declividade e tipo de solo.

Entre 1998 e 2000, as pastagens permaneceram sem animais, a fim de garantir o crescimento inicial das espécies arbóreas. Em 2001 e 2002, a pastagem foi utilizada para o pastejo de vacas secas, respeitando-se períodos de ocupação de 5 dias e descanso

de 45 dias. Durante os experimentos entre os anos de 2003/2004 e 2004/2007, a área foi manejada com novilhas mestiças leiteiras em crescimento, com peso corporal inicial médio de 250 kg, no método de pastejo em lotação rotativa, com períodos médios de ocupação de 7 dias e de descanso de 35 dias. Durante a condução dos experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016, os pastos foram manejados pelo método de pastejo em lotação contínua. Para os experimentos entre os anos de 2003/2004 e 2004/2007, foram estabelecidos períodos de descanso fixo de 35 dias que ao momento de interrupção da rebrotação coincidiu com as alturas em pré e pós-pastejo de 40 e 20 cm, respectivamente, e, nos experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016, procurou-se manter os pastos entre 30 e 35 cm de altura.

Desde o plantio, as áreas com pastagens não receberam aplicações adicionais de fertilizantes ou corretivos até o ano de 2010. Entre 2011 e 2014, as pastagens receberam anualmente 64 kg ha⁻¹ de nitrogênio e potássio e 16 kg ha⁻¹ de fósforo, divididas em duas aplicações iguais durante o verão. De 2014 a 2016, não houve aplicações de fertilizantes.

As percentagens de sombreamento foram medidas utilizando o ceptômetro LI-190SA conectado a um radiômetro portátil LI-COR, modelo LI-189 no experimento em 2003/2004 e nos experimentos entre os anos de 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016 utilizou-se o ceptômetro AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Pullman, WA, USA), onde, por meio de medidas não-destrutivas foram avaliadas a RFA que chegava no sub-bosque. Foram realizadas medições com céu claro durante a época chuvosa no horário de 9:00, 12:00 e 15:00 horas, a um metro acima do nível do solo. Durante os experimentos, a percentagem média de redução da RFA no SSP em relação ao MONO foi de 23% no experimento em 2003/2004, 29% no experimento de 2004/2007, 46% no experimento de 2011/2014 e 51% no experimento de 2014/2016.

Durante o período que antecedeu o experimento de 2003/2004, o SSP apresentava densidade aproximada de 170 árvores/ha. Em outubro/novembro de 2003, de acordo com a previsão inicial de manejo do sistema, de realizar o desbaste de parte das árvores de eucalipto aos seis anos, 30% dessas árvores foram cortadas, resultando em redução da densidade para 110 árvores/ha, na área total. Entre 2004 a 2007, a densidade de árvores por hectare foi de 105 árvores/ha devido à mortalidade e ao desbaste seletivo ocorrido neste período. As espécies mais representativas do sistema durante o experimento de 2004/2007 em diante foram *E. grandis* e *A. mangium*, que apresentaram, em média, 21,7 m de altura, e diâmetro à altura do peito (DAP) de 25,5 cm, com 60 árvores/ha e 14 m de altura e 20,0 cm de DAP, com 60 e 45 árvores/ha, respectivamente. Durante o experimento de 2011/2014, não houve mensurações do componente arbóreo. Entre 2014 a 2016, as árvores de *E. grandis* apresentaram altura média de 29,0 m, e DAP de 45 cm, com 50 árvores por hectare. As árvores de *A. mangium* apresentaram 14,2 m de altura e 32 cm de DAP, com 16 árvores/ha. Além do eucalipto e da acácia, existiam 15 árvores por hectare de *M. artemisiana*, as quais não foram medidas, mas contribuíram para a densidade total de 81 árvores por hectare, após 18º ano de plantio.

Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos sob o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 (dois sistemas de produção: SSP e MONO; e quatro experimentos, durante os anos de 2003 a 2004, 2004 a 2007, 2011 a 2014 e 2014 a 2016) com 2 repetições (piquetes) nos experimentos entre 2003/2004 e 2004/2007, e 3 repetições nos experimentos entre 2011/2014 e 2014/2016. A área experimental entre 2003/2004 e 2004/2007 totalizou 16 ha (8 ha para cada sistema), com 32 piquetes de

0,5 ha. Para os experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016 foi utilizada uma área total de 8,4 ha (4,2 ha para cada sistema), com 6 piquetes de 1,4 ha.

Manejo dos animais e da pastagem

Todos os procedimentos envolvendo animais durante os experimentos foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso dos Animais da Embrapa Gado de Leite. O período experimental, dentro de cada ano, compreendeu, em média, 150 dias. O manejo do pastejo foi realizado utilizando o método de lotação rotativa entre os anos de 2003/2004 e 2004/2007 e lotação contínua entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016, com taxa de lotação variável. Cada piquete foi pastejado por novilhas leiteiras Holandês x Gir (animais "*testers*"). Conforme a necessidade de ajuste da taxa de lotação, para manutenção das alturas desejadas, animais adicionais (animais "*grazers*") foram colocados ou retirados de cada piquete, de acordo com o método *put-and-take* (Allen et al., 2011). Os animais foram selecionados no rebanho da EMBRAPA, adotando-se como critério de seleção por peso e composição genética semelhante dentro de cada experimento. Durante os experimentos, os animais receberam água e suplementação mineral *ad libitum*.

Avaliações

A altura do pasto foi mensurada semanalmente utilizando-se régua graduada em centímetros. Foram mensurados 50 pontos em cada piquete (repetição) nos experimentos entre anos de 2003/2004 e 2004/2007 e 140 pontos nos experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016. No MONO as medidas foram realizadas de forma aleatória em cada piquete. Já no SSP, devido à influência do sombreamento nas

características estruturais do pasto, 30% das medidas foram realizadas abaixo e próximo às linhas das árvores, sendo o restante mensurado entre as linhas de árvores.

A massa de forragem foi estimada por meio de amostragem direta (destrutiva) a cada 14 dias em 2003/2004 (20 amostras), 35 dias em 2004/2007 (20 amostras), 21 dias em 2011/2014 (10 amostras) e 28 dias em 2014/2016 (12 amostras). Para isso, as amostras foram colhidas a 5 cm do nível do solo nos pontos médios da altura do pasto em cada piquete com auxílio de moldura metálica de 0,25 m² (0,5 m x 0,5 m). Em seguida, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada de ar a 55 °C, por 72 h, para determinação do teor de matéria seca. Uma sub-amostra foi separada nas frações verde e morta. Na fração verde foi contado o número de perfilhos, a fim de se estimar a densidade populacional destes. Em seguida, a fração verde foi separada em lâmina foliar e colmo para determinação da composição morfológica pela separação manual dos seguintes componentes das plantas: lâmina foliar verde, considerada as lâminas com menos de 50% de tecido senescente mais as lâminas foliares em expansão; colmo: colmo e bainha de perfilhos que emitiram ou não inflorescência; e, forragem morta: tecido necrosado em folha aderida ao perfilho e o material completamente necrosado não aderido ao perfilho. Os componentes das plantas foram secos em estufa de ventilação forçada de ar a 55 °C, por 72 h, onde foi determinado a matéria seca de seus constituintes. A partir dessas informações foram estimadas a massa seca total e as massas de lâmina foliar, colmo e forragem morta. A massa seca verde foi constituída pelo somatório das massas de lâmina foliar e de colmo e a massa seca total representou o somatório da massa seca verde e da massa da forragem morta. Já a densidade volumétrica da massa seca total e verde da forragem foi calculada a partir da massa seca total e verde dividida pela altura média do pasto.

As amostras de forragem foram moídas em moinho com faca tipo *Willey* equipado com uma tela de malha de 1 mm e posteriormente foram encaminhadas para análise da composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da forragem. Foram analisados os teores de proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e DIVMS. Os teores de N foram determinados de acordo com o procedimento de *Kjeldahl* (AOAC, 1990). A proteína bruta (PB) foi calculada como concentração total de N x 6,25. Os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) foram analisados segundo metodologia proposta por Van Soest et al. (1991) e a DIVMS foi realizada de acordo com a técnica descrita por Tilley & Terry (1963).

A taxa de lotação foi calculada com base nos pesos dos animais de prova acrescidos dos pesos dos animais reguladores durante o período que permaneceram nos piquetes, e na área total (ha) de cada tratamento. O ganho de peso médio diário dos animais foi usado para estimar o desempenho dos animais. Para isso, os animais foram pesados no início do experimento e a cada 35 dias em 2003/2004 e 2004/2007, e 28 dias em 2001/2014 e 2014/2016, após jejum de sólidos e líquidos de 12 horas. O ganho de peso médio diário dos animais foi obtido pela diferença entre as pesagens, dividida pelo intervalo das pesagens. O ganho de peso por área foi calculado pela multiplicação do ganho médio diário dos animais pela taxa de lotação por piquete e pelo número de dias que permaneceram em pastejo.

Análise estatística

Utilizou-se análise conjunta de dados provenientes de quatro experimentos realizados entre os anos de 2003 a 2016. Os experimentos foram conduzidos sob o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 (dois sistemas de produção: sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO)); e quatro experimentos

entre os anos de 2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016). Foram consideradas as interações entre os experimentos e os sistemas mencionados. Além disso, o efeito de bloco dentro de cada experimento foi considerado como aleatório. As análises foram realizadas utilizando-se o PROC MIXED do SAS® (versão 9.4) e o desdobramento das interações foi estudada via função LSMEANS com a opção SLICE. Para todas as análises foi definido nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Características estruturais e produtivas do pasto

Não foi observado efeito significativo entre os sistemas de produção para a variável altura do pasto (Tabela 1). O manejo com taxa de lotação variável foi eficiente para controlar a altura do pasto durante os experimentos em ambos sistemas. A densidade populacional de perfilhos variou com o sistema apenas no experimento entre os anos de 2011/2014, quando foi observada menor densidade para o SSP (Tabela 1). Houve efeito significativo para as variáveis massa seca total, massa seca verde, densidade volumétrica da massa seca total e densidade volumétrica da massa seca verde (Tabela 1). Foram verificadas menores massas e densidades volumétricas da forragem no SSP em relação ao MONO, a partir do experimento entre os anos de 2004/2007.

Tabela 1 – Características estruturais e produtivas de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante a época chuvosa de quatro experimentos (2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016) na mesma área experimental

Variáveis	2003/2004		2004/2007		2011/2014		2014/2016	
	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO
Altura (cm)	39,7 a	37,2 a	39,1 a	39,7 a	35,7 a	34,8 a	33,9 a	33,5 a
<i>P</i> -valor	0,3960		0,7676		0,5057		0,8207	
EPM	2,05		1,18		0,96		1,18	
Densidade populacional de perfilhos (perfilhos m ⁻²)	476 a	552 a	489 a	579 a	634 b	760 a	625 a	728 a
<i>P</i> -valor	0,5274		0,2045		0,0320		0,1452	
EPM	84,38		48,71		39,77		48,72	
Massa seca total (Kg ha ⁻¹)	2.100 a	2.607 a	2.638 b	3.242 a	2.181 b	3.491 a	2.173 b	3.142 a
<i>P</i> -valor	0,2120		0,0133		<.0001		0,0002	
EPM	286,21		170,28		142,96		167,78	
Massa seca verde (Kg ha ⁻¹)	1.760 a	2.093 a	1.796 b	2.241 a	1.799 b	2.705 a	1.715 b	2.279 a
<i>P</i> -valor	0,3359		0,0310		<.0001		0,0074	
EPM	241,56		139,46		113,87		139,46	
Densidade volumétrica da massa seca total (Kg cm ha ⁻¹)	53,0 a	70,0 a	67,4 b	82,1 a	63,9 b	96,6 a	64,7 b	92,7 a
<i>P</i> -valor	0,1349		0,0279		<.0001		0,0001	
EPM	7,88		4,60		3,76		4,57	
Densidade volumétrica da massa seca verde (kg cm ha ⁻¹)	44,4 a	56,2 a	45,8 b	56,8 a	52,5 b	75,6 a	51,2 b	67,2 a
<i>P</i> -valor	0,1980		0,0431		<.0001		0,0041	
EPM	6,34		3,66		2,99		3,66	

Médias do SSP e MONO seguidas de diferentes letras dentro de cada experimento são estatisticamente diferentes pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. 2003/2004: 6º e 7º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 23% no SSP; 2004/2007: 7º ao 10º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 29% no SSP; 2011/2014: 14º ao 17º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 46% no SSP e 2014/2016: 17º ao 18º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 51% no SSP. EPM = erro padrão da média.

Efeito significativo foi observado para as variáveis massa seca de lâminas foliares, colmo e forragem morta (Tabela 2). Seguindo o padrão observado para a massa seca total e verde da forragem, maiores massas de lâminas foliares foram observadas no MONO em relação ao SSP entre os experimentos realizados entre os anos de 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016 (Tabela 2). A massa seca de colmo e forragem morta foi maior no MONO do que no SSP, nos experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016 (Tabela 2).

Tabela 2 – Produção de massa seca dos componentes morfológicos da forragem de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante a época chuvosa de quatro experimentos (2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016) na mesma área experimental

Variáveis	2003/2004		2004/2007		2011/2014		2014/2016	
	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO
Massa seca de lâminas foliares (kg ha ⁻¹)	949 a	1.053 a	918 b	1.152 a	713 b	1.047 a	716 b	947 a
<i>P</i> -valor	0,5273		0,0183		0,0001		0,0196	
EPM	117,78		70,74		57,76		69,38	
Massa seca de colmo (kg ha ⁻¹)	810 a	1.040 a	877 a	1.088 a	1.088 b	1.688 a	998 b	1.331 a
<i>P</i> -valor	0,2615		0,0783		<.0001		0,0072	
EPM	141,98		81,97		66,92		81,97	
Massa seca de forragem morta (kg ha ⁻¹)	340 a	514 a	842 a	1.001 a	379 b	739 a	494 b	862 a
<i>P</i> -valor	0,3721		0,1612		0,0004		0,0023	
EPM	135,91		78,46		64,07		78,46	

Médias do SSP e MONO seguidas de diferentes letras dentro de cada experimento são estatisticamente diferentes pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. 2003/2004: 6º e 7º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 23% no SSP; 2004/2007: 7º ao 10º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 29% no SSP; 2011/2014: 14º ao 17º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 46% no SSP e 2014/2016: 17º ao 18º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 51% no SSP. EPM = erro padrão da média.

Composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca

O teor de proteína bruta (PB) na forragem variou com os sistemas durante os experimentos (Tabela 3). Maiores teores de PB foram observados no SSP em relação ao MONO nos experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016, não havendo diferença significativa entre os sistemas durante os experimentos entre 2003/2004 e 2004/2007. O teor de fibra em detergente neutro (FDN) não variou com o sistema em nenhum dos experimentos avaliados (Tabela 3).

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi influenciada pelo sistema apenas durante o experimento entre os anos de 2011/2014, quando a maior DIVMS foi observada no MONO (Tabela 3).

Tabela 3 – Composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca da forragem de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante a época chuvosa de quatro experimentos (2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016) na mesma área experimental

Variáveis	2003/2004		2004/2007		2011/2014		2014/2016	
	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO
Proteína bruta (g kg ⁻¹ da MS)	100 a	94 a	93 a	82 a	139 a	113 b	118 a	91 b
<i>P</i> -valor	0,7678		0,3476		0,0044		0,0159	
EPM	13,06		7,54		6,15		7,54	
Fibra em detergente neutro (g kg ⁻¹ da MS)	683 a	682 a	714 a	717 a	680 a	693 a	659 a	676 a
<i>P</i> -valor	0,9708		0,8491		0,3457		0,2498	
EPM	19,15		11,06		9,03		11,06	
Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (g kg ⁻¹ da MS)	561 a	563 a	560 a	570 a	597 b	637 a	652 a	656 a
<i>P</i> -valor	0,9125		0,4487		0,0007		0,7804	
EPM	15,96		9,22		7,53		9,22	

Médias do SSP e MONO seguidas de diferentes letras dentro de cada experimento são estatisticamente diferentes pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. 2003 a 2004: 6º e 7º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 23% no SSP; 2004 a 2007: 7º ao 10º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 29% no SSP; 2011 a 2014: 14º ao 17º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 46% no SSP e 2014 a 2016: 17º ao 18º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 51% no SSP. EPM = erro padrão da média.

Desempenho animal

O MONO proporcionou maior taxa de lotação (novilhas ha^{-1}) em relação ao SSP durante o experimento entre os anos de 2011/2014, não havendo diferença entre os sistemas nos outros experimentos (Tabela 4). Para a taxa de lotação, expressa em UA ha^{-1} , não foi observado efeito significativo (Tabela 4).

Não foi observado diferença significativa para o ganho de peso médio diário (GMD) entre os sistemas durante os experimentos (Tabela 4). O ganho de peso por área (GPA) foi influenciado pelo sistema apenas no experimento entre os anos de 2014/2016, quando o ganho no MONO foi maior do que no SSP (Tabela 4).

Tabela 4 – Taxa de lotação, ganho de peso médio diário e ganho de peso médio por área de novilhas leiteiras (Holandês x Gir) em pasto de *B. decumbens* em sistema silvipastoril (SSP) e monocultivo (MONO) durante a época chuvosa de quatro experimentos (2003/2004, 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016) na mesma área experimental

Variáveis	2003/2004		2004/2007		2011/2014		2014/2016	
	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO	SSP	MONO
Taxa de lotação (novilha ha ⁻¹)	2,6 a	2,6 a	2,5 a	2,5 a	2,3 b	2,5 a	2,3 a	2,5 a
<i>P</i> -valor	0,7256		0,5441		0,0259		0,0751	
EPM	0,10		0,05		0,04		0,05	
Taxa de lotação (UA ha ⁻¹)	1,5 a	1,6 a	1,6 a	1,5 a	1,4 a	1,5 a	1,5 a	1,6 a
<i>P</i> -valor	0,2918		0,5404		0,0865		0,0726	
EPM	0,06		0,03		0,03		0,03	
Ganho de peso médio diário (Kg dia ⁻¹)	0,638 a	0,612 a	0,563 a	0,481 a	0,527 a	0,501 a	0,476 a	0,530 a
<i>P</i> -valor	0,7198		0,0558		0,4445		0,1996	
EPM	0,05		0,03		0,02		0,03	
Ganho de peso por área (kg ha ⁻¹)	245 a	242 a	214 a	186 a	183 a	186 a	169 b	199 a
<i>P</i> -valor	0,9137		0,0692		0,7863		0,0479	
EPM	11,84		8,18		6,68		7,54	

Médias do SSP e MONO seguidas de diferentes letras dentro de cada experimento são estatisticamente diferentes pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. 2003/2004: 6º e 7º anos após o estabelecimento e sombreamento médio de 23% no SSP; 2004/2007: 7º ao 10º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 29% no SSP; 2011/2014: 14º ao 17º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 46% no SSP e 2014/2016: 17º ao 18º ano após o estabelecimento e sombreamento médio de 51% no SSP. EPM = erro padrão da média.

DISCUSSÃO

Características estruturais e produtivas do pasto

Não há recomendações concisas sobre a meta de altura mais adequada para manejo de pastos em SSP, seja em pastejo contínuo ou rotacionado. No entanto, sabe-se que altura para manejo de pastagens em SSP deve levar em consideração o efeito da competição por recursos de crescimento, especialmente em relação a RFA, entre o pasto e as árvores. Baseado nesta premissa, adotou-se um modelo de manejo do pastejo mais leniente, que priorizasse a manutenção da produtividade do pasto, visando contribuir com a perenidade da pastagem, tendo em vista o baixo uso de insumos, ao longo de 18 anos de utilização da pastagem. Ficou evidente que a adequação no ajuste da taxa de lotação foi uma estratégia que auxiliou na manutenção das metas de manejo do pastejo durante os experimentais. A maior altura durante o experimento entre os anos de 2004/2007 e a menor, entre os anos de 2014/2016, coincidem com períodos de maior e menor precipitação pluviométrica, respectivamente. Enquanto a maior umidade no solo favorece o crescimento da planta, a baixa precipitação durante o o experimento entre os anos de 2014/2016 pode ter limitado o crescimento, em decorrência da menor abertura estomática, e conseqüentemente, menores taxas fotossintéticas (Mendes et al., 2013).

As massas e as densidades volumétricas da forragem foram menores no SSP em relação ao MONO, a partir do experimento entre os anos de 2004/2007, devido aos níveis crescentes de sombreamento, os quais possivelmente já estavam afetando a assimilação de carbono pela forrageira. Esse resultado indica a relativa capacidade da *B. decumbens* de manter o perfilhamento mesmo em condições de restrição luminosa mais acentuada. A diferença significativa entre os sistemas na densidade populacional

de perfilhos durante o experimento entre os anos de 2011/2014 pode estar associada à fertilização nitrogenada realizada neste período, a qual repercutiu maior efeito positivo no MONO do que no SSP, favorecendo a maior disparidade entre valores na densidade populacional de perfilhos. Lopes et al. (2017) constataram que a adubação é mais efetiva no aumento do perfilhamento em condições de sol pleno do que sob sombreamento. A adubação nitrogenada aumenta a taxa de aparecimento de folhas e o número de gemas basilares que são capazes de produzir novos perfilhos, resultando em incremento da densidade dos mesmos (De Bona & Monteiro, 2010). Já no SSP, mesmo com maior disponibilidade de N no solo, há menor resposta à adubação nitrogenada, em decorrência do baixo suprimento de carbono na planta, limitando o perfilhamento. Faria et al. (2018), avaliaram a resposta produtiva e qualitativa da *B. decumbens* e *B. ruziziensis* a três níveis de sombreamento (0, 36 e 54 %) e quatro doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ de solo), e observaram que houve redução no perfilhamento para ambas espécies com o aumento do sombreamento e níveis de N, constatando que a forrageira cultivada sob sombreamento requer níveis mais baixos de N, diferentemente da resposta da forrageira cultivada a pleno sol.

A semelhança na massa seca total e verde da forragem entre o SSP e MONO durante o experimento entre 2003/2004 está relacionada à tolerância da *B. decumbens* ao sombreamento moderado imposto pelo componente arbóreo (Guenni et al., 2008; Paciullo et al., 2007) (Tabela 1). Durante os experimentos entre 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016 foi constatado progressivo aumento dos níveis de sombreamento no SSP, o que resultou em diminuição na massa seca total e verde da forragem, em relação ao MONO. A redução da capacidade produtiva de pastos em SSP têm sido relacionada, principalmente, à menor densidade de fluxo de fótons e à modificação na qualidade do espectro de luz (redução na relação vermelho: vermelho distante) que chega ao sub-

bosque, com o avanço da idade das árvores (Dodd et al., 2005; Wilson & Ludlow, 1991). Diminuição na produção da massa de forragem com aumento do nível de sombreamento em SSP foi observada por outros autores (Bosi et al., 2014; Gómez et al., 2013; Oliveira et al., 2014; Santos et al., 2016). A redução na densidade volumétrica da massa seca total e verde da forragem no SSP em relação ao MONO, a partir de 2004/2007, está associado ao fato de que a massa seca total e verde foi menor no SSP, considerando que a altura do pasto foi a mesma para ambos os sistemas (Tabela 1). As baixas densidades volumétricas da forragem observada no SSP podem diminuir a massa do bocado e a ingestão de forragem pelos animais, o que poderia resultar no comprometimento da produção animal no SSP. Lopes et al. (2017), observaram redução de 18% e 58% na densidade volumétrica da massa seca da forragem de *B. decumbens* cultivada com 20% e 70% em relação a pleno sol. Segundo Sollenberger & Burns (2001), a densidade volumétrica da forragem é uma das características estruturais do pasto que pode determinar o tempo gasto pelos animais durante o pastejo, afetando a ingestão de nutrientes por interferir no comportamento ingestivo dos animais e na digestão da forragem.

A massa seca de lâminas foliares seguiu o mesmo padrão observado para massa seca total e verde da forragem (Tabela 2). Os pastos no SSP durante os experimentos entre 2004/2007, 2011/2014 e 2014/2016, apresentaram menores massas de lâminas foliares em relação ao MONO. Embora em condições de sombreamento as plantas aumentem o investimento de fotoassimilados na síntese de tecido foliar, repercutindo em aumento da área foliar específica há, simultaneamente, redução da espessura da folha e de seu peso individual (Gobbi et al., 2009). A massa seca de colmo e forragem morta seguiu o mesmo padrão durante os experimentos (Tabela 2). Ambas variáveis apresentaram redução nos valores no SSP em relação ao MONO durante os

experimentos entre 2011/2014 e 2014/2016. A menor massa seca de colmo e forragem morta observada no SSP em relação ao MONO é resultante da menor massa seca total observada neste período. A redução da RFA em SSP, compromete a capacidade fotossintética das plantas, reduzindo a produção dos componentes morfológicos da massa da forragem (Santiago-Hernández et al., 2016). Pastos cultivados em MONO apresentam taxas fotossintéticas superiores a dos pastos sombreados, proporcionando acelerado desenvolvimento e senescência dos tecidos. Neel et al. (2016) relataram que plantas cultivadas em áreas sombreadas tendem a apresentar atraso na maturidade morfológica de 4-6 dias em relação as plantas em MONO. Dessa forma, as plantas cultivadas em SSP tendem a ser mais jovens fisiologicamente, o que prolonga a fase vegetativa, reduzindo a morte dos tecidos (Lopes et al., 2017).

Composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca

O aumento observado no teor de PB da forragem no SSP em relação ao MONO durante os experimentos entre 2011/2014 e 2014/2016 (Tabela 3), pode ser atribuído ao efeito dos níveis mais intensos de sombreamento durante esse período (46% e 51%, respectivamente). Houve incremento de 23% e 30% no teor de PB na forragem no SSP em relação ao MONO durante os experimentos entre os anos de 2011/2014 e 2014/2016, respectivamente. O maior teor de PB em pastos em SSP com aumento do nível de sombreamento é consistente com os resultados encontrados por outros autores (Kyriazopoulos et al., 2013; Paciullo et al., 2017; Sousa et al., 2009). Este aumento no teor de PB da forragem em ambientes sombreados pode estar relacionado tanto ao efeito direto do sombreamento sobre fotossíntese, quanto ao efeito da dinâmica do N no solo (Peri et al., 2007; Wilson, 1996). Além disso, a *B. decumbens* pode ter se

beneficiado do nitrogênio fixado pelas leguminosas arbóreas presentes na área do estudo, resultando em maior teor de PB na forragem.

O teor de FDN na forragem em SSP não apresenta um padrão bem definido na literatura, podendo aumentar, reduzir, ou até mesmo não alterar com o sombreamento quando comparado ao MONO (Lin et al., 2001; Paciullo et al., 2014; Neel et al., 2016). Os resultados dependem da espécie forrageira, percentagem de sombreamento, estágio de maturidade e manejo da forrageira (Neel et al., 2008).

A maior DIVMS da forragem no MONO em relação ao SSP durante o experimento entre os anos de 2011/2014, é contraditório aos resultados observados por Paciullo et al. (2007), onde eles associaram a maior DIVMS, ao maior teor de PB na forragem. No entanto, vários estudos têm demonstrado padrão indefinido da variação da DIVMS em forrageiras cultivadas em SSP, com redução, semelhança e aumento da DIVMS em SSP em relação ao MONO (Neel et al. 2016; Paciullo et al., 2011; Sousa et al., 2010).

Desempenho animal

De acordo com a hipótese apresentada neste estudo, esperava-se queda da taxa de lotação com o avanço da idade dos sistemas, especialmente no SSP, em decorrência do aumento progressivo da competição pela RFA disponível entre os componentes forrageiro e arbóreo. A análise conjunta, caracterizando a evolução temporal dos sistemas, mostrou apenas uma tendência de decréscimo no número de novilhas por hectare, notadamente, no SSP. Estes resultados evidenciam a capacidade da *B. decumbens* de se adaptar a condições com intensidade luminosa reduzida, especialmente em sistemas com baixo uso de insumos.

A maior taxa de lotação (novilha ha⁻¹) observada no MONO em relação ao SSP durante os anos de 2011/2014, pode ser explicada pelo efeito marcante da fertilização realizada durante este período. A fertilização, especialmente a nitrogenada, reflete diretamente no incremento da densidade populacional de perfilhos, resultando em maior disponibilidade de massa seca de forragem, e conseqüentemente, aumento na capacidade de suporte do MONO em relação ao SSP (Tabela 4).

Havia a expectativa de que o GMD pudesse ser positivamente influenciado pelo aumento nos teores proteicos da forragem no SSP. Contudo, durante os quatro experimentos, o GMD se manteve semelhante entre os sistemas, a despeito das menores massas e densidades da forragem no SSP, a partir de 2004-2007. De fato, a ingestão de forragem está diretamente relacionada com características estruturais e morfológicas do pasto. Com isso, podemos inferir que possivelmente os animais que pastejavam no SSP permaneceram por um período de tempo maior em pastejo para garantir o suprimento de nutrientes ao longo do dia, visto que as massas e densidades volumétricas da forragem foram menores no SSP. A manutenção de mesma altura do dossel forrageiro, com densidades volumétricas diferentes, pode ter favorecido maior oportunidade de seleção e ingestão de forragem no MONO, quando comparado ao SSP. Os maiores teores proteicos da forragem no SSP, observados neste estudo, associados às condições microclimáticas mais favoráveis ao conforto térmico dos animais (Sousa et al., 2010) podem ter compensado as menores massas e densidades da forragem no SSP, contribuindo para GMD semelhantes entre os sistemas.

Apesar da semelhança na taxa de lotação e no GMD entre os sistemas durante os experimentos, houve queda progressiva no GPA no SSP, ao longo do tempo, culminando no menor valor observado em 2014/2016. No MONO destaca-se a queda acentuada do experimento entre 2003/2004 para 2004/2007, mas uma relativa

estabilização do GPA ao longo do período compreendido entre os experimentos entre 2004/2007 a 2014/2016. A comparação dos sistemas, indica que apenas no último experimento houve diferença significativa a favor do MONO, quanto ao GPA. Estes últimos resultados reportados confirmaram a expectativa de redução da produção animal por área no SSP de longo prazo. Apesar disso, pode-se considerar que as magnitudes das diferenças são pequenas, o que foi devido ao raleamento do bosque ao longo do tempo, seja por morte ou retirada intencional de árvores, que evitou um aumento maior do nível de sombreamento no SSP. Enfatiza-se também que o modelo extensivo de manejo pode ter reduzido as diferenças entre os sistemas.

Diante dos resultados encontrados nesse estudo de longo prazo em SSP com produção animal, o que se deve esperar é que a renda com a madeira e seus benefícios ao meio ambiente, como aumento do estoque de carbono na biomassa aérea, compense o menor ganho animal por área. Além disso, a comercialização dessa madeira a longo prazo para a serraria é uma forma de agregar valor ao produto.

CONCLUSÃO

Níveis de sombreamento igual/superior a 29% reduz a produtividade da forragem de *B. decumbens*.

Os maiores teores de proteína bruta no sistema silvipastoril com aumento do nível de sombreamento, resulta em ganho de peso médio diário das novilhas leiteiras semelhante ao monocultivo de *Brachiaria decumbens* ao longo dos anos após estabelecimento e uso da pastagem.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E.M.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M.; KOSTOPOULOU, P.; KARATASSIOU, M.; ANJALANIDOU, K.; KATSOUTA, C. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v.88, p.287–299, 2014.
- ALLEN, V.G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E.J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; McLVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETTERS, A.; SANDERSON, M. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v.66, p.2–28, 2011.
- AOAC. (1990). **Official Methods of Analysis**. In Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., v.15, 1990, pp. 136–138.
- BARNES, P.; WILSON, B.R.; REID, N.; BAYERLEIN, L.; KOEN, T.B.; OLUPOT, G. Examining the impact of shade on above-ground biomass and normalized difference vegetation index of C₃ and C₄ grass species in North-Western NSW, Australia. **Grass and Forage Science**, v.70, p.324–334, 2015.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C.; SANTOS, P.M.; NICODEMO, M.L.F. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.449–456, 2014.
- BROOM, D.M.; GALINDO, F.A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society**, v.280, p.2013–2025, 2013.
- DE BONA, F. D.; MONTEIRO, F. A. The development and production of leaves and tillers by Marandu palisadegrass fertilised with nitrogen and sulphur. **Tropical**

- Grasslands**, v. 44, n. 3, p. 192–201, 2010.
- DODD, M.B.; MCGOWAN, A.W.; POWER, I.L.; THORROLD, B.S. Effects of variation in shade level, shade duration and light quality on perennial pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.48, p.531–543, 2005.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013.
- FARIA, B.M.; MORENZ, M.J.F.; PACIULLO, D.S.C.; LOPES, F.C.F.; GOMIDE, C.A.M. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v.49, p.529–536, 2018.
- GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; NETO, A.F.G.; PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1645–1654, 2009.
- GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. **Grass and Forage Science**, v.68, p.395–407, 2013.
- GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity. **Tropical Grasslands**, v.42, p.75–87, 2008.
- KYRIAZOPOULOS, A. P.; ABRAHAM, E.M.; PARISSI, Z.M.; KOUKOURA, Z.; NASTIS, A.S. Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments. **Grass and Forage Science**, v.68, p.72–82, 2013.

- LIN, C.H.; Mc GRAW, R L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.53, p.269–281, 2001.
- LOPES, C.M., PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C.; GOMIDE, C.A.M.; MORENZ, M.J.F.; VILELA, S.D.J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, p.225–233, 2017
- MENDES, M.M.S.; LACERDA, C.F.; CAVALCANTE, A.C.R.; FERNANDES, F.É. P.; OLIVEIRA, T.S. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de paubranco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1342-1350, 2013.
- MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, v.261, p.1654–1663, 2011.
- NAHED-TORAL, J.; VALDIVIESO-PÉREZ, A.; AGUILAR-JIMÉNEZ, A.; CÁMARA-CORDOVA, J.; GRANDE-CANO, D. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, v.57, p.266–279, 2013.
- NEEL, J.P.S.; BELESKY, D.P. Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. **Grass and Forage Science**, v.72, p.137–153, 2017.
- NEEL, J.P.S.; FELDHAKE, C.M.; BELESKY, D.P. Influence of solar radiation on the productivity and nutritive value of herbage of cool-season species of an

- understorey sward in a mature conifer woodland. **Grass and Forage Science**, v.63, p.38–47, 2008.
- NEEL, J.P.S.; FELTON, E.E.D.; SINGH, S.; SEXSTONE, A.J.; BELESKY, D.P. Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. **Grass and Forage Science**, v.71, p.259–269, 2016.
- OLIVEIRA, C.C.; VILLELA, S.D.J.; ALMEIDA, R.G.; ALVES, F.V.; BEHLINGNETO, A.; MARTINS, P.G.M.A. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health Production**, v.46, p.167–172, 2014.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.42, p.573–579, 2007.
- PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.Á.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v.141, p.166–172, 2011.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; MAURÍCIO, R.M.; FERNANDES, P.B.; MORENZ, M.J.F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v.72, p.590–600, 2017.
- PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; MAURÍCIO, R.M.; GOMIDE, C.A.M.; SILVEIRA, S.R. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass–legume pastures shaded by

- tropical trees. **Animal**, v.8, p.1271, 2014.
- PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v.70, p.63–79, 2007.
- SANTIAGO-HERNÁNDEZ, F.; LÓPEZ-ORTIZ, S.; ÁVILA-RESÉNDIZ, C.; JARILLO-RODRÍGUEZ, J.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, P.; DIOS GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. **Agroforestry Systems**, v.90, p.339–349, 2016.
- SANTOS, D.C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V.B.; FRANÇA, A.F.S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.233, p.16–24, 2016.
- SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C. Influence of luminosity on the behavior of eleven perennial summer forage species. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.443–451, 2009.
- SOLLENBERGER, L.E.; BURNS, J. C. Canopy characteristics, ingestive behavior and herbage intake in cultivated tropical grasslands. In: International Grassland Congress, São Pedro. **Proceedings...São Pedro: IGC**, 2001. p.321.
- SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; MOREIRA, G.R.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, I.; PEREIRA, L.G.R. Nutritional evaluation of "Braquiaraõ" grass in association with "Aroeira" trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v.79, p.189–199, 2010.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A Two-Stage Technique for the in Vitro Digestion of Forage Crops. **Grass and Forage Science**, v.18, p.104–111, 1963.

- 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**, v.74, p.3583–3597, 1991.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.47, p.1075–1093, 1996.
- WILSON, J.R.; LUDLOW, M.M. **Forages for Plantation Crops**. Proceeding of a workshop, Sanur Beach - The Plantation Crop Environment. In *ACIAR Proceedings*, p.168, 1991.
- WOLFINGER, R. **Covariance structure selection in general mixed models**. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, v.22, p.1079–1106, 1993.