**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Respostas agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em
sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**

Valéria Ana Corvalã dos Santos

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2018**

Valéria Ana Corvalã dos Santos
Zootecnista

**Respostas agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistemas de
integração lavoura-pecuária-floresta**

Orientadora:
Prof. Dra. **PATRÍCIA MENEZES SANTOS**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Santos, Valéria Ana Corvalã dos

Respostas agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta / Valéria Ana Corvalã dos Santos. - Piracicaba, 2018.

89 p.

Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Sistemas integrados. 2. Sombreamento 3. Fotossíntese foliar 4. Microclima 5. Acúmulo de forragem . I. Título

Ofereço

A todos os alunos de pós-graduação que decidiram se dedicar á ciência, não medindo esforços e conseqüências para conquistarem o tão sonhado título. Àqueles que muitas vezes, diante das dificuldades, tiveram medos dos desafios, mas seguiram em frente e continuaram com medo mesmo, porque a vontade de vencer foi maior, e o Deus que habita em nós é inteligente e criativo, e nos mostra como honrarmos nossa história.

*Aos meus pais, Raul e Maria Luíza,
pelo apoio e amor incondicional de hoje e sempre;
Aos meus irmãos Valquiria, Josimar e Jorge pelo incentivo
Amor, apoio em as minhas decisões;
A todos meus parentes, vó, tios, tias e primos pelo incentivo;*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, tua fidelidade, que me cobriu de forças, para superar as minhas fraquezas e obstáculos, colocando sempre pessoas amigas e companheiras em meu caminho, e por ter nos dado um universo cheio de infinitas possibilidades e aprendizados.

Agradeço a minha orientadora Dra Patrícia Menezes Santos, pela orientação, pelo exemplo de conduta profissional a qual aprendi a admirar e respeitar, pela paciência que teve nos momentos mais difíceis, pelo incentivo, ensinamentos e fundamentalmente por acreditar em minha capacidade, que contribuíram para meu amadurecimento não só profissional, mas principalmente pessoal.

Ao Pesquisador Dr. Roberto Giolo de Almeida, pela oportunidade de realização do experimento da tese, e inúmeras outras oportunidades de trabalho, pela co-orientação, pela paciência, confiança que sempre depositou em mim durante todos esses anos de amizade, que tive a oportunidade de aprender, aplicar conhecimentos, gerenciar atividades e me integrar no seu grupo, me apoiando sempre.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), ao departamento de Zootecnia (LZT) e à coordenação e professores do Programa em Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

Aos professores, Carlos Guilherme Silveira Pedreira, Fabio Ricardo Marin, Sila Carneiro da Silva pelos conhecimentos compartilhados.

À secretária do programa de Ciência Animal e Pastagens, Sandra, pela paciência e auxílio durante o curso.

Aos pesquisadores e colaboradores das unidades da Embrapa Gado de Corte e Embrapa Pecuária Sudeste que contribuíram para realização da pesquisa.

À Divisão de Biblioteca da ESALQ/USP pela revisão e adequação do trabalho às normas.

Às minhas amigas de república em Piracicaba, Éloa, Thais, Cecília e Erica pela convivência como irmãs e grande apoio durante todo o curso, em especial na conclusão e entrega deste documento.

Aos amigos de república em São Carlos, Iram e Sarosh pela convivência e grande apoio.

E à minha família pelo carinho e apoio incondicional durante toda minha vida.

“... Não é o mais forte da espécie que sobrevive, nem o mais inteligente, mas sim o que melhor se adapta às mudanças.”

Charles Darwin

“... Se quisermos aumentar nossa capacidade de resolver problemas, precisamos aprender como transcender os limites que nossa própria mente nos impõe”.

Mario Alonso Puig

“... Nenhum problema pode ser resolvido a partir do mesmo grau de consciência que o gerou”

Albert Einstein

“... Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança”.

Stephen Hawking

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
Referencias	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.....	15
2.2 Fatores Micorclimáticos determinantes.....	19
2.3 Respostas de plantas sob sombreamento.....	22
2.4 Escolha da espécie forrageira para ILPF	24
2.5 Hipótese.....	25
2.6 Objetivos.....	25
Referencias	26
3 CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS DO PASTO DE BRACHIARIA BRIZANTHA CV. BRS PIATÃ EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA AO LONGO DOS ANOS	31
Resumo.....	31
Abstract	31
3.1 Introdução	32
3.2 Material e métodos.....	35
3.2 Caracterização da área experimental.....	35
3.2.2 Arranjo da área experimental	37
3.2.3 Avaliações.....	39
3.2.4 Análises estatísticas.....	44
3.3 Resultados.....	45
3.4 Discussão	49
3.5 Conclusões	51
Referencias	52
4 RESPOSAS AGRONOMICAS E ESTRUTURAIS DE BRACHIARIA BRIZANTHA CV. BRS PIATÃ EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA .	55
Resumo.....	55
Abstract	55
4.1 Introdução	56

4.2 Material e métodos	57
4.2.1 Caracterização da área experimental	57
4.2.2 Arranjo da área experimental.....	59
4.2.3 Avaliações e coletas de dados.....	62
4.2.4 Análises de dados	64
4.3 Resultados.....	65
4.3.1 Características Microclimáticas dos sistemas ILPF	65
4.3.2 Características agronomicas e fisiologicas da planta forrageira	74
4.4 Discussão	82
4.5 Conclusões	83
Referencias	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
Referencias	87
6 CONCLUSÕES	89

RESUMO

Respostas agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta têm se apresentado promissores, e são apontados como alternativas mais sustentáveis de uso da terra, assim como ferramentas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e diminuir os efeitos que as mudanças climáticas possam gerar na produção agropecuária. Contudo, devido à complexidade desses sistemas, existem ainda muitas limitações técnicas que dificultam a otimização da produção de forragem. O componente arbóreo reduz a quantidade e qualidade da luz, modificando o microclima, e interferindo em processos morfofisiológicos das plantas essenciais para produção de biomassa. Visando entender essas modificações e gerar informações sobre acúmulo de biomassa de plantas forrageiras e produção animal em ambientes sombreados, o objetivo geral com este estudo foi avaliar as alterações no microclima do sub-bosque florestal e seus efeitos sobre a produção de forragem, o desempenho animal, e as características morfofisiológicas e estruturais de gramíneas tropicais em diferentes arranjos florestais de sistemas ILPF.. A *Brachiaria brizantha* cv. Piatã avaliada em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento entre linhas simples de árvores de eucalipto de 14 m (ILPF14) e de 22 m (ILPF22), comparados a um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP, a pleno sol), com estratégia de rotação de culturas de 4 anos, sendo 1 ano de lavoura e 3 de pasto. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema de faixas subdivididas, com 4 repetições. Avaliou-se a produção de forragem e o desempenho novilhas nelore, durante 2 ciclo de rotação, no período de 2009 a 2016, comparando as estações de cada ano. No último ano do segundo ciclo, no período de julho de 2015 a junho de 2016, com as árvores adultas e sombreamento intenso, foram realizadas avaliações das respostas morfofisiológicas e estruturais do capim-piatã, no sub-bosque florestal, conforme a distância das árvores, e estações do ano.

Palavras-chave: Sistemas integrados; Sombreamento; Fotossíntese foliar; Microclima; Radiação Solar; *Brachiaria brizantha*; Pecuária

ABSTRACT

Agronomic and physiological responses of tropical grasses in crop-livestock-forest integration systems

The crop-livestock-forest integrated systems have been pointed out as sustainable alternatives to land use, as well as a tool to mitigate greenhouse gases emissions and to reduce the effects that climate change can generate on agricultural production. However, due the complexity of these systems, there are still many technical limitations that hamper the optimization of forage production. The arboreal component reduces the quantity and quality of light, and modifies the microclimate, interfering in morphophysiological processes essential for biomass accumulation in forage species. The objective of this study was to evaluate the shading effect of different densities of trees on microclimate, and how their interactions influence physiological and structural characteristics of forage plants, and forage production, along the seasons and crop rotation cycle. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã was evaluated in two crop-livestock-forest integration systems, with single lines of eucalyptus trees spacing by 14 m (ILPF14) and 22 m (ILPF22) (ILPF22), compared to a crop-livestock integration system (ILP; sun), with a crop rotation strategy of 4 years, with 1 year of crop cultivation and 3 years of pasture. A randomized complete blocks design, arranged in a split strips scheme, with 4 replicates was adopted. The forage production and performance of nellore heifers were evaluated during 2 rotation cycles between 2009 and 2016, comparing the seasons of each year. In the last year of the second cycle, from July 2015 to June 2016, with adult trees and intense shading, evaluations of the morphophysiological and structural responses of the piatã palisadegrass were carried out in the sub-forest, according to the distance of the trees, and seasons of the year.

Keywords: Integrated systems; Shading; Leaf photosynthesis; Microclimate; Solar radiation; *Brachiaria brizantha*; Livestock

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta tem sido amplamente difundidos nas ultimas décadas, ocupando cerca de 4 milhões de hectares no Brasil (Wruck et al., 2015). A possibilidade de combinar culturas e de intensificar a utilização da terra, podendo melhorar a produtividade e contribuir para reduzir os impactos ambientais, vem fazendo com que esses sistemas tenham destaque, principalmente diante das expectativas de crescimento populacional e aumento no aquecimento global. O último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), aponta que até 2050 a terra terá 9 bilhões de habitantes. Um acréscimo de aproximadamente 2,1 milhões de habitantes, com uma taxa de crescimento de 0,33% ao ano (IPCC, 2013). De acordo com essas projeções, somada a melhoria nas condições econômicas de diversos países em desenvolvimento, a demanda por alimentos poderá aumentar até 2% ao ano. Por outro lado, estima-se que a produção global de cereais aumentará 56% entre os anos de 1997 e 2050 e a produção pecuária em 90% no mesmo período (Ribeiro e Corção, 2013).

Ao longo dos anos, os aumentos na produção de alimentos foram obtidos por meios de estratégias com foco na produtividade em curto prazo, sem levar em consideração os impactos ambientais, e com uso de práticas que se apresentaram insustentáveis em longo prazo (Carvalho et al., 2015). Essas práticas, dentre outras, tem sido apontadas como causa primária da degradação de sistemas de produção agrícola, de desmatamentos, e da emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças no clima.

As predições do 5º Relatório do IPCC (2013), indicam que a temperatura global poderá subir 4,8°C até 2100, com elevação dos oceanos, mudanças significativas na precipitação e aumento nas amplitudes das temperaturas máximas e mínimas extremas (Marengo et al., 2009). Mudanças drásticas no clima indicam impactos severos sobre o setor agrícola, principalmente com relação a temperaturas mais elevadas, que aumentam a energia do sistema climático planetário, intensificando as secas e catalisando incêndios florestais, mas também criam tempestades e chuvas mais pesadas, tornando-as potencialmente mais destrutivas, trazendo perdas e custos para o produtor rural (Silva e Paula, 2009)

O Brasil, devido à sua extensa área com aptidão agrícola, é reconhecido por seu potencial de produção agropecuária. O setor é um dos mais importantes para economia brasileira, contribuindo com 24% do PIB nacional em 2016, dos quais a pecuária teve expressiva participação, 31% (CEPEA, 2017). Entretanto, em muitos casos, essa produção está aquém do real potencial do país, além de ser realizada de forma ocupacionista, via

desmatamentos, sem preocupação com os impactos ambientais e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Macedo, 2009). No 3º Inventário Brasileiro de Emissões, o setor agropecuário foi considerado o segundo principal emissor de gases de efeito estufa (GEE), respondendo por 32% do total nacional (BRASIL, 2015). Estes resultados levaram o governo brasileiro a assumir unilateralmente, na conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009, realizada em Copenhague, o compromisso de diminuir as emissões de GEE entre 36 a 39% até o ano 2020, além de reduzir o desmatamento e recuperar 15 milhões de pastagens degradadas entre outras ações (Boddey et al., 2015).

Dentro deste contexto, a busca por equilíbrio entre as demandas da sociedade, a agricultura, e os recursos natural, representa um desafio para as ações de pesquisa e desenvolvimento. O setor agrícola se defronta com a necessidade de aumentar a produção de alimentos, ao mesmo tempo em que é pressionado quanto à preservação do ambiente, fazendo com que temas como segurança alimentar e mudanças climáticas sejam cada vez mais postos em pauta. Dentre as estratégias de sistemas integrados, os sistemas integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que integram atividades agrícola, pecuária e florestal na mesma área, vem se destacando (Freitas et al., 2013). Estes sistemas foram considerados pela FAO (2010) como uma das atividades mais sustentáveis na agricultura e de baixo impacto ambiental, sendo recomendados como alternativa aos sistemas convencionais de produção de ruminantes, visto que contribuem para a recuperação de áreas degradadas e para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Balbino et al., 2011). Porém, para assegurar essas vantagens preconizadas, de aspectos ambientais e econômicos, é necessário considerar o equilíbrio entre os componentes do sistema (atmosfera, solo, plantas e animais).

Em sistemas ILPF a produção de forragem é influenciada por diversos fatores, inerentes ao componente arbóreo, como: densidade e arranjo de árvores, altura das árvores, arquitetura da copa e fenologia de cada espécie. As árvores criam uma barreira à radiação, e promovem alterações das condições térmicas e hídricas do ambiente. A taxa de crescimento de gramíneas tropicais é diretamente relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas plantas (Rhodes, 1973), que é limitada em sistemas arborizados. Por outro lado, sob a copa das árvores apresenta-se maior teor de umidade do ar e, em alguns casos, umidade do solo (Porfírio-da-Silva, 1998), o que diminui o déficit de pressão de vapor (DPV) e a demanda evapotranspirativa das plantas herbáceas e rasteiras do sub-bosque, favorecendo a abertura dos estômatos e o processo fotossintético (Cintra, 2014).

Dentro deste contexto, as definições de implantação e manejo do componente arboóreo representam um dos maiores desafios na adoção dos sistemas ILPF, tendo em vista

que são espécies permanentes no sistema, que promovem constantes alterações microclimáticas e interferem direta e indiretamente nas características fisiológicas e estruturais das gramíneas, interferindo na produção de forragem ao longo das estações e dos anos (Balbino et al., 2012).

Diante do exposto, o objetivo geral com este trabalho foi avaliar as alterações no microclima do sub-bosque florestal e seus efeitos sobre a produção de forragem, o desempenho animal, e as características morfofisiológicas e estruturais de gramíneas tropicais em diferentes arranjos florestais de sistemas ILPF.

Referencias

- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.
- BRASIL. (2015). Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil (em processo de revisão). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: M
- BODDEY, R. M., URQUIAGA, S., JANTALIA, C. P., ALVES, B.R.J. Balanço de carbono em sistemas pastoris e de integração lavoura-pecuária no Brasil. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27, PIRACICABA, 2015. **Anais...** Piracicaba : FEALQ, 2015, p.153-178.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil Tillage Research*, v. 103, p. 342-349, 2009.
- CRESTANI, S., SILVA, S. .C. Uso do critério de interceptação de luz para o manejo do pastejo em área de pastagens de sistemas integrados com componente arbóreo. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27, PIRACICABA, 2015. **Anais...** Piracicaba : FEALQ, 2015, p.83-112.
- DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, Suplemento especial, p.121-138, 2007. DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, Suplemento especial, p.121-138, 2007.
- FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, v. 13, 64p., 2010.
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Ed) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 3-29.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 44, p. 109–119, 1999.

MARENGO J.A.; JONES, R; ALVES, L.M.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 1-15, 2009. DOI: 10.1002/joc.1863

PECUS. Glossário da rede de pesquisa Pecuária. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015. 17p. Disponível em: < <http://www.cppse.embrapa.br/redepecus/sites/default/files/glossario%20PECUS%20revisado%20FINAL.pdf> > <http://www.cppse.embrapa.br/redepecus/sites/default/files/glossario%20PECUS%20revisado%20FINAL.pdf> >. Acesso em 29 jun.2017

RHODES, I. Relationship between canopy structure and productivity in herbage grasses and its implication for plant breeding. **Herbage Abstracts**, v.43, p.129-133, 1973.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

Os sistemas de ILPF são reconhecidos como alternativas para intensificação da produção agropecuária, de forma sustentável (FAO, 2010). Trata-se de estratégias de produção que alternam, de modo simultâneo, sequencial ou rotacionado, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à alimentação animal, e também culturas destinadas à produção vegetal, sobretudo grãos, em consórcio com árvores, principalmente de interesse econômico (Balbinot Jr et al., 2009, Macedo 2009).

Os sistemas de ILPF permitem a exploração de sinergismos entre seus componentes (atmosfera-solo-planta-animal), e tem se mostrando uma alternativa aos sistemas de produção intensivos tradicionais, os quais se caracterizam por pouca diversidade e pelo elevado uso de insumos (LEMAIRE et al., 2014). Segundo Herrero et al. (2010), o futuro da alimentação do planeta dependerá de tecnologias de intensificação sustentáveis, que promovam ganhos de eficiência para se produzir mais alimentos sem que se use mais área, água ou outros insumos.

Dentro desse contexto, os sistemas ILPF ganharam grande destaque nos últimos anos, pois foram reconhecidos como promovedores de sequestro de carbono, e incluídos na agenda brasileira de mitigação de emissões dos gases de efeito estufa da agropecuária (Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento vem lançando vários programas de financiamento específicos para implantação de sistemas integrados em seu Plano Agrícola e Pecuário. Em 2008-2009, lançou o Programa de Produção Sustentável do Agronegócio (PRODUSA), que tem como uma de suas diretrizes a implantação de sistemas produtivos sustentáveis, ou seja, que envolvam no processo produtivo, bem-estar animal e qualidade da carne, conservação do solo e da água, mitigação das emissões de gases de efeito estufa e aumento do seqüestro de carbono, além da prestação de serviços sociais e ambientais em áreas com pastagens. Posteriormente, em 2010, criou o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), sendo os sistemas ILPF considerados de grande importância para o Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de Uma Economia de Baixo Carbono, oportunizando linhas de créditos específicas para implantação desses sistemas (BRASIL, 2013). Este plano foi relacionado com três programas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA): Programa 1 que trata da recuperação de pastagens degradadas; Programa 2 que engloba ações para implementar sistemas

agroflorestais e integração Lavoura-Pecuária-Floresta; e Programa 7 que visa a adaptação da agropecuária brasileira às mudanças climáticas (MAPA, 2014).

Com esses planos de ação, a adoção de sistemas de integração vem sendo crescente ano a ano. Em levantamentos realizado por Wruck et al. (2015), estimam-se que foram implantadas cerca de 4 milhões de hectares no Brasil, sendo 70% com sistemas agropastoril (ILP), 15% com sistemas silvipastoril (IPF), 10% com sistemas agrossilvipastoril (ILPF) e 5% com sistema silviagrícola (ILF), dos quais a maioria (35%) encontram-se na região centro-oeste, no bioma cerrado. De acordo com Balbino et al. (2011), com a implantação desses sistemas poderá haver aumentos significativos na produtividade agropecuária, sem que haja a necessidade de abertura de novas áreas com vegetação ativa.

No âmbito da pecuária, os sistemas ILPF têm sido utilizados para recuperação de áreas degradadas de pastagens, para intensificação da produção animal, para diversificação da produção e para geração de serviços ambientais, como conforto térmico animal e mitigação de emissões de gases de efeito estufa e sequestro de carbono (Carvalho et al., 2010; Almeida et al., 2015). Quando ILP é utilizado para recuperação de pastagens degradadas, com o plantio de lavouras têm-se amortização de parte dos custos da recuperação ou da reforma das pastagens pela produção e comercialização de grãos. O cultivo de grãos é feito por um, dois ou mais anos, e volta-se com a pastagem, que se beneficiará dos nutrientes residuais das lavouras na produção de forragem (Alvarenga, 2004).

A presença das árvores favorecerá um ambiente edáfico biologicamente mais ativo em comparação com outros sistemas de cultivo (Silva et al., 2011). De acordo com Salton et al. (2008), o enriquecimento do solo de pastagens arborizadas tem sido observado em várias regiões e ocorre em razão das modificações edafoclimáticas e do aproveitamento de nutrientes pelas árvores, de camadas do solo mais profundas, que estão fora do alcance das raízes das forrageiras. De acordo com Balbino et al. (2012) há ainda aumento das entradas de matéria orgânica pela deposição de serrapilheira na superfície do solo, e da fixação de N atmosférico, quando são utilizadas espécies de leguminosas, além de maior controle de erosão, e melhoria na capacidade de retenção e infiltração de água que contribuem para redução do escoamento superficial.

Os efeitos da implantação das árvores no sistema, entretanto, vão depender das interações micro-edafoclimáticas, principalmente, em relação a radiação solar, umidade do ar, temperatura, vento, e umidade e fertilidade do solo (Young, 1991), as quais poderão ou não favorecer o crescimento das plantas forrageiras. O consórcio entre árvores e plantas forrageiras pode gerar competição por nutrientes, espaço, água e luz (Conte et al., 2011).

Segundo Dias-Filho (2006), quando a árvore fornece um sombreamento excessivo, normalmente também ocorre competição por água e nutrientes, pois as árvores apresentaram queda abundante de folhas, cuja decomposição será lenta, e o acúmulo da serrapilheira poderá prejudicar a rebrota e crescimento do capim.

Na escolha da espécie arbórea a ser implantada em um sistema de ILPF com ênfase na pecuária, além de se considerar sua adaptação às condições locais, deve-se optar por aquelas que apresentem crescimento rápido, de modo que entre um e dois anos do plantio as árvores tenham atingido altura tal que posicionem suas copas acima do alcance dos animais, com diâmetro do tronco suficiente para que sejam minimizados possíveis danos mecânicos (Castro; Paciullo, 2006). Práticas de desrama podem ser utilizadas na condução das árvores, para minimizar os danos pelo gado; outra estratégia é utilizar animais de categorias menores, como de recria, na fase inicial de crescimento das árvores. Outros aspectos para escolha da espécie florestal são: práticas silviculturais conhecidas; disponibilidade de sementes e mudas; espécies de leguminosas que fixam nitrogênio atmosférico e apresentem potencial forrageiro; e espécies que não sejam tóxicas ao gado. Dentre as espécies florestais mais utilizadas em pastagens no Brasil, destacam-se: eucaliptos (*Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp.), grevilea (*Grevillea robusta*), pinus (*Pinus* spp.), teca (*Tectona grandis*), paricá (*Schyzolobium amazonicum*), mogno africano (*Kaya ivorensis*), cedro australiano (*Toona ciliata*), canafístula (*Pelthophorum dubium*) e acácia mangium (*Acacia mangium*) (Carvalho et al., 2001; Paciullo et al., 2007; Porfírio-da-Silva et al., 2010). Árvores de crescimento lento (menos de dois metros de altura por ano), como algumas espécies nativas, também podem ser utilizadas quando o produto /serviço escolhido compensa o custo de proteção contra danos que o gado pode produzir nas árvores (Porfírio-da-Silva et al., 2010).

Em sistemas de ILPF em que a atividade principal é a pecuária, a escolha do componente florestal deve considerar espécies para múltiplo uso, que proporcionem madeira de qualidade para diferentes segmentos e permitam a entrada de várias receitas durante seu ciclo produtivo. Nesse caso, destacam-se as espécies e híbridos de eucalipto, por apresentarem boa adaptação às diferentes condições edafoclimáticas brasileiras, crescimento rápido com fuste alto e copa não muito densa e madeira com características desejáveis para os segmentos de celulose e moveleiro. Práticas de desbaste seletivo ou sistemático podem ser utilizadas na condução das árvores, para obtenção de receitas a partir de quatro a cinco anos da implantação do sistema.

Quanto aos arranjos das árvores, podem variar de linhas simples, duplas ou triplas, de acordo com a finalidade da madeira, e ser associados a práticas de desbaste seletivo ou

sistemático, para produzir madeira com maior espessura e maior valor agregado. Em sistemas de ILPF com finalidade na pecuária, a implantação de linhas simples facilita o manejo das árvores, exigindo menos mão de obra. Espaçamentos mais amplos favorecem o desenvolvimento da forrageira no sub-bosque e a produção de madeira com maiores dimensões, além de permitirem o consórcio com culturas agrícolas por maior período e com menores limitações em termos de competição por espaço, luz, água e nutrientes. Do ponto de vista da pecuária, espaçamentos entre fileiras ou renques de árvores podem variar de 10 a 50 m, sendo que espaçamentos menores limitam a produção forrageira e animal. Nas regiões de Cerrado, em sistemas de ILPF, o eucalipto pode sofrer desbastes sucessivos, de acordo com a finalidade da madeira: aos quatro-cinco anos para carvão, lenha e moirões; aos oito-nove anos para celulose e para postes, sendo realizado o corte final das árvores aos doze-quatorze anos para serraria e laminação, seguindo-se um novo ciclo de plantio das árvores. Também pode-se optar por apenas um desbaste, deixando-se entre 100 a 200 árvores/ha para o corte final, sendo a madeira comercializada para serraria

Com relação ao desempenho animal, as árvores auxiliam na estabilização do microclima, propiciando um clima mais ameno para os animais, protegendo do calor e frio intensos, auxiliando na manutenção do conforto térmico, com reflexos positivos na produtividade do rebanho (Porfírio-da-Silva, 2006). De acordo com Porfírio-da-Silva (2006), essas alterações microclimáticas dependem de maneira geral, da escolha da espécie arbórea, do direcionamento do plantio das árvores, e do arranjo e espaçamento entre os renques de árvores, que pode ser determinado de acordo com as condições locais e objetivos dos sistemas de produção. O arranjo espacial do componente arbóreo deve permitir penetração de luz no seu sub-bosque. Contudo, com crescimento das plantas, em densidades de 300 a 600 árvores.ha⁻¹, tende a ocorrer sombreamento intenso quando as árvores se tornam adultas, sendo necessário a realização de desbastes para entrada de luz nos estratos inferiores. É recomendado que quando o sombreamento da copa das árvores ultrapassar 50 % da distância entre os renques seja realizado o desbaste de 50% do componente arbóreo (Porfírio-da-Silva, 2013).

Desta forma, os benefícios dos sistemas arborizados dependem das técnicas adotadas de implantação e manejo do componente arbóreo. O melhor entendimento das relações atmosfera-solo -planta-animal nestes sistemas pode contribuir para a definição de arranjos do componente arbóreos mais eficientes no uso dos recursos disponíveis e mais sustentáveis.

2.2 Fatores Microclimáticos determinantes da produção de forragem

Na pecuária, o gerenciamento da produção de forragem é considerado um dos principais fatores do sucesso ou insucesso da atividade, em virtude das variações climáticas e da estacionalidade de produção apresentada pelas gramíneas perenes. Segundo Pedreira et al. (1998), as respostas biológicas que influenciam a adaptação, sobrevivência e crescimento de plantas são diretamente relacionadas às variáveis do ambiente físico, como, temperatura, luminosidade, disponibilidade de água e nutrientes no solo, etc.

Dentre os fatores climáticos determinantes da produção de forragem, a radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo e umidade do solo são as principais (MULLER et al., 2002). Mudanças nesses fatores desencadeiam uma série de alterações em processos fisiológicos que influenciam o crescimento e senescência dos tecidos vegetais, alterando a velocidade das reações químicas, a taxa de aparecimentos de folhas, o perfilhamento, o florescimento, o alongamento foliar e, conseqüentemente, as exigências de manejo da planta forrageira (Nabinger e Pontes, 2001). Os componentes arbóreo e forrageiro apresentam diferenças morfológicas, tanto na parte aérea como no sistema radicular e, por estarem dividindo o mesmo espaço, satisfazem as suas necessidades explorando as mesmas fontes dos recursos radiação, água e nutrientes. Desta forma, torna-se importante o conhecimento dos mecanismos básicos dessa competição, visando maximizar a produção biológica (VEIGA et al, 2001).

A exploração dos recursos naturais pelos principais componentes bióticos desses sistemas deve estar em equilíbrio. Quando as interações são equilibradas, desde o seu estabelecimento até a colheita final dos produtos, é possível a produção simultânea dos componentes arbóreo, forrageiro e animal, se apresentando como um sistema silvipastoril verdadeiro (VARELLA et al., 2009). Contudo, ainda é comum verificar, em condições de propriedades rurais, dificuldades no manejo dos componentes, frequentemente causados pelo estabelecimento de espaçamentos e arranjos arbóreos inadequados ao desenvolvimento das espécies forrageiras (VARELLA, 2008) comprometendo a produtividade e persistência das mesmas.

Em sistemas ILPF, com o crescimento das árvores, há uma diminuição progressiva da radiação solar e da radiação fotossinteticamente ativa disponíveis no sub-bosque (Paciullo et al., 2011). Muitos trabalhos desenvolvidos a partir da década de 1980 se concentram na busca de informações sobre interceptação e uso da radiação em sistemas agroflorestais (Rao et al., 1998). Alterações na quantidade de radiação solar incidente em sub-bosques silvipastoris têm

sido estudadas por vários grupos de pesquisa no mundo inteiro (Silva-Pando et al., 2002; Feldhake et al., 2009; Varella et al., 2010). Bosi (2018) observou que a radiação solar global foi a variável microclimática mais afetada no interior de um sistema silvipastoril, sofrendo influência da posição do sol e da orientação dos renques de árvores. Reynolds (1995) e Feldhake et al. (2005) afirmam que a radiação em ambientes silvipastoris apresenta variação espacial, diária e sazonal, dependendo principalmente da latitude do local, da exposição do terreno, da espécie florestal e da densidade arbórea utilizadas, e da nebulosidade. Além disso, muitos trabalhos demonstram que a magnitude das variações se expressa mais claramente com o avanço da idade e altura das árvores, ou seja, com seu estágio de desenvolvimento.

Em termos qualitativos, a radiação que atinge o estrato herbáceo, após a absorção ou reflexão pela copa e tronco das árvores, também é alterada, pois há absorção preferencial das porções vermelha e azul do espectro solar pelo dossel arbóreo. Assim, a radiação incidente no sub-bosque apresenta uma maior proporção de comprimentos de onda cor-de-laranja, amarelos e verdes, e é mais pobre em vermelho (V) e azul (A), enquanto o vermelho distante (VD) é predominantemente refletido e transmitido ao estrato herbáceo (Krueger apud Jose et al., 2004). No sub-bosque ocorre também uma maior proporção de radiação difusa em relação à direta ao nível do dossel forrageiro. A luz difusa tem maior penetração no dossel arbóreo do que a luz direta (Wilson & Ludlow, 1990), podendo ser melhor utilizada pelas plantas (Feldhake, 2005).

As gramíneas tropicais apresentam ponto de saturação à luz acima dos valores encontrados em ambientes naturais (Gomide, 1994). O sombreamento e a redução da incidência de radiação fotossinteticamente ativa podem, portanto, determinar a redução da fotossíntese e da produtividade de gramíneas tropicais em sistemas silvipastoris. O manejo do componente arbóreo em sistemas integrados pode contribuir para reduzir a competição por luz e aumentar a produtividade do sistema como um todo.

O conhecimento das condições para o cultivo nas entrelinhas de povoamentos das árvores torna-se um importante fator, para produção de forragem em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. De acordo com Botelho (1998), a recomendação do espaçamento do componente arbóreo não pode ser generalizada, devendo-se levar em consideração o uso final da madeira, as características do local e da espécie arbórea, os objetivos do plantio e as condições de mercado, bem como os tratamentos silviculturais e os tipos de equipamento disponíveis. Em espaçamentos pequenos, a necessidade de desbastes é maior e muito precoce, no sentido de evitar que ocorra redução drástica da incidência de radiação no sub-bosque.

Quanto maior o espaçamento entre as linhas das árvores, maior será a penetração de radiação no substrato forrageiro, favorecendo o acúmulo de biomassa deste último. Entretanto, o espaçamento entre as linhas das árvores não pode ser tão elevado a ponto de comprometer a quantidade e a qualidade do produto florestal por área de terra e a cobertura arbórea desejada para a proteção dos animais e da pastagem (VARELLA et al., 2009). No cerrado, espaçamentos a serem adotados para reflorestamento devem ser mais amplos, pois apresentam solos com baixa fertilidade e pouca disponibilidade de água (GOMES, 1994).

A temperatura constitui um importante fator abiótico, uma vez que influencia enzimas que controlam reações metabólicas, e o crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2008). Bosi (2018) observou que a temperatura do ar foi influenciada pela presença do componente arbóreo, principalmente quanto aos valores máximos, sendo que o efeito dependeu da orientação dos renques e da disposição das copas das árvores. As forrageiras tropicais não apresentam fotorrespiração (Taiz e Zeiger, 2004) e a faixa de temperatura ótima para a fotossíntese é próxima aos valores encontrados na região do Brasil Central. A temperatura base inferior para *Brachiaria brizantha* foi estimada entre 10,5°C (Silva et al., 2012) e 11,1°C (Pequeno et al., 2014). Pequeno et al. (2014) estimaram ainda que a faixa ótima de temperatura para produção de *Brachiaria brizantha* era entre 30,2 e 40° C.

Na maior parte do Cerrado brasileiro, a estacionalidade de produção de forragem é condicionada pela disponibilidade de água (CORRÊA, 2006), visto que a temperatura não é limitante ao crescimento das plantas. Conforme Taiz e Zeiger (2004), a pressão de turgescência das células regula processos fisiológicos como a abertura e fechamento dos estômatos, a fotossíntese e o alongamento e expansão das folhas. A água também é importante, pois auxilia na absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente através do mecanismo de fluxo de massa (RUIZ et al., 1999).

Muitos trabalhos têm constatado modificações positivas no microclima, associadas à presença de árvores, especialmente em ambientes tropicais e sub- tropicais. As árvores interferem sobre os principais componentes da demanda evaporativa atmosférica (vento, temperatura e radiação solar), o que permite redução da evapotranspiração e aumento na quantidade de água retida no solo (Lin et al., 2001, TRECENTI et al., 2008).

O conteúdo de água no solo sob diferentes níveis de cobertura de árvores depende dos componentes do balanço hídrico em cada lugar, ou seja, a quantidade de água que ingressa no sistema através da precipitação, e a quantidade que sai pelos processos de percolação profunda, escoamento superficial e/ou evapotranspiração (Fernandez et al., 2006). Porém, em geral os solos protegidos por árvores apresentam maior teor de umidade em épocas críticas do

que aqueles expostos diretamente ao sol e ao vento, sendo que as forrageiras existentes nessas áreas permanecem mais verdes no período mais seco. Segundo Frank e Furtado (2001), gramíneas forrageiras em consórcio com árvores sofrem menos as consequências da estacionalidade de produção, apresentando coloração mais verde no período seco do ano, devido à maior quantidade de água retida no solo em função das variações no microclima e na velocidade do vento influenciadas pelo componente arbóreo.

Assim, apesar da competição por luz, o sombreamento moderado, em determinadas situações, pode permitir maior crescimento das plantas do que a condição a pleno sol. Para aumentar a eficiência dos sistemas silvipastoris, é interessante que o arranjo e manejo do componente arbóreo

proporcionem condições de microclima favoráveis ao desenvolvimento das plantas forrageiras. Alguns valores recomendados de microclima para gramíneas forrageiras são:

- Vento: pode causar danos físicos e diminuir a capacidade fotossintética das gramíneas forrageiras, caso atinjam velocidades superiores a 6 m s^{-1} ($21,6 \text{ km h}^{-1}$) (Gregory, 1995), assim, quebra ventos formados por árvores auxiliam o desenvolvimento de plantas forrageiras.
- Luminosidade: o sombreamento diminui a fotossíntese e o perfilhamento, porém sombra de 30 a 40% pode manter, ou até aumentar, a produção de gramíneas forrageiras tolerantes ao sombreamento (Porfírio-da-Silva e Moraes, 2010).
- Temperatura: o ideal para o crescimento de gramíneas tropicais são temperaturas entre 30 e 35°C, enquanto de 10 a 15°C o desenvolvimento é praticamente nulo (MCWILLIAN, 1978).
- Umidade do solo: a produção de *Panicum maximum* é reduzida a partir de níveis de umidade do solo abaixo de cerca de 80% da capacidade de armazenamento máximo do solo (Pezzopane et al., 2013)

2.3 Respostas de plantas forrageiras sob sombreamento

Como relatado por Crestani e Silva (2015), a maioria dos estudos avaliando a tolerância de gramíneas tropicais ao sombreamento vem sendo realizado de forma simplista, basicamente com objetivo de conhecer a produção final de forragem (produção de massa seca, taxa de acúmulo, composição morfológica e química da forragem), como foi realizada há

muitos anos no início da década de 1990 com pastagens em monocultivo, sem se preocupar com os processos intermediários envolvidos na produção (Da Silva e Nascimento Jr., 2007).

Entre as gramíneas tropicais utilizadas no Brasil, as cultivares das espécies *Panicum maximum* e *Brachiaria brizantha* têm exibido boa tolerância, tanto nos experimentos feitos com sombra artificial, quanto naqueles feitos com sombra natural. Porém há ainda muitas respostas contraditórias. Até pouco tempo considerava-se a espécie *Panicum maximum* mais tolerante ao sombreamento que as espécies do gênero *Brachiaria sp.* (Martuscello et al., 2009), porém, de acordo com os autores, esta conclusão era decorrente do maior número de estudos realizados com a espécie *P. maximum* (Carvalho et al., 1997; Faria et al., 2004; Jank et al., 2006). Alguns autores demonstraram excelentes produtividades de *B. brizantha* cultivar Marandu em sistemas silvipastoris, sendo até superior as cultivares da espécie *P. maximum* (Costa et al., 1998; Andrade et al., 2001; Andrade et al., 2004), principalmente em função de sua excelente adaptabilidade a diversos sistemas de produção e condições edafoclimáticas do Brasil. Para o cultivo de espécies forrageiras em sistemas silvipastoris, não basta que estas sejam apenas tolerantes ao sombreamento, é necessário selecionar espécies com boa capacidade fotossintética, adaptadas ao manejo e ambientadas às condições edafoclimáticas da região onde serão implantadas (Garcia & Andrade, 2001).

Em pesquisas na região do cerrado, com desempenho de gramíneas tropicais (*B. brizantha* cv. Marandu, *P. maximum* cvs. Aruana, Tanzânia, Mombaça, Makueni) em consórcio com árvores de angico adultas, comparadas a pleno sol, durante quatro períodos de avaliação, em dois anos, Carvalho et al. (2002) observaram que nos dois primeiros períodos de corte não houve diferença entre as espécies, sendo que as duas apresentaram redução na produção de forragem devido a baixa disponibilidade de radiação no sub-bosque (40% de transmissão de luz). Porém, no terceiro período de corte (em janeiro, marcado por veranico) as cultivares Marandu e Mombaça produziram 30% e 14% mais massa seca na sombra do que a pleno sol, demonstrando que o ambiente criado sob a copa das árvores propicia um microclima favorável a diminuição déficit de pressão de vapor e a retenção de umidade no solo, fazendo o diferencial no crescimento das forrageiras.

É importante ressaltar que, quando há outro fator ambiental mais limitante de produção, como limitação hídrica, e ou mineral no solo, a radiação solar deixa de ser o principal fator limitante (Bernardino e Garcia, 2009). Peri et al. (2005) avaliando a produção de forragem de *Dactylis glomerata* em sistemas silvipastoris, realizando adubação nitrogenada, observaram que maior rendimento quântico ($0,036 \mu\text{mol}^{-1} \text{CO}_2$ de fóton

irradiado) sob condições sem limitação e com limitação hídrica foi obtido com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de $1000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $350 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente.

A deficiência de água no solo diminui o potencial hídrico, fazendo com que os estômatos se fechem para que possa ser mantido um potencial de água da folha acima do valor crítico (Barnard e Ryan, 2003). Reduções na condutância estomática com intuito de diminuir a perda da água também reduzem as taxas fotossintéticas, pois ao mesmo tempo em que os estômatos oferecem resistência à difusão da água de dentro da folha para a atmosfera, constituem-se em uma barreira para a aquisição de CO_2 (Pearcy e Pftisch, 1991).

Os principais fatores ambientais que modificam os padrões de condutância estomática são a luz e a umidade, tanto do solo quanto do ar (Landsberg, 1986). A temperatura e umidade do ar afetam o déficit de pressão de vapor (DPV), variável essa à qual o estômato é sensível (Streck, 2003). As variações da temperatura e umidade relativa do ar, e, portanto, do DPV, estão intimamente associadas às flutuações diárias da radiação solar. Em ambientes agroflorestais ocorrem decréscimos substanciais no DPV entre a copa das árvores e a atmosfera e, conseqüentemente, também na transpiração (DaMatta e Rena, 2001). Assim, apesar dos estômatos permanecem abertos por mais tempo, o aumento do influxo de CO_2 para a fotossíntese não é acompanhado proporcionalmente pela perda de vapor d'água (DaMatta, 2004) contribuindo para otimizar a utilização de água pela planta (maior eficiência do uso da água) e melhorar a eficiência fotossintética ao longo do dia.

Um melhor entendimento do comportamento fotossintético das plantas forrageiras e suas respostas morfofisiológicas às mudanças microclimáticas características de ambientes silvipastoris, notadamente ao DPV, é fundamental para predizer o seu crescimento, contribuindo para uma seleção mais precisa de espécies para plantios em áreas com condições ambientais adversas.

2.4 Escolha da espécie forrageira para integração lavoura-pecuária-floresta

Um dos requisitos fundamentais para o sucesso dos sistemas de iLPF é a escolha das espécies forrageiras para o sistema, as quais devem ser produtivas, além de tolerantes ao sombreamento, e adaptadas às condições edafoclimáticas do local de implantação. Isto é mais relevante em se tratando de área de cerrado, com características particulares de solos ácidos, de baixa fertilidade e estação seca bem definida e prolongada (ANDRADE et al., 2003).

A adaptação das forrageiras ao sistema agrossilvipastoril depende basicamente de sua resposta à variação da intensidade luminosa, que ocasiona modificações dos componentes

morfofisiológicos das plantas. Em geral, a taxa de crescimento e a produção de forragem decrescem com o aumento das condições de sombreamento, mas, dependendo da espécie, maiores rendimentos forrageiros podem ser obtidos, em condições de sombra moderada (CARVALHO, 2001).

De acordo com Lin et al. (2001), todas as plantas respondem fisiologicamente e morfologicamente à sombra e isso varia consideravelmente com seu grau de adaptação, que é uma expressão do seu genótipo. A aclimação morfológica das plantas à atenuação luminosa se constitui em uma estratégia adaptativa para compensar, pelo menos parcialmente, menores taxa fotossintéticas por unidade de área foliar (REYNOLDS, 1995). Estas adaptações dependem de mudanças na área foliar específica, ângulo foliar e disposição das folhas no dossel da planta forrageira.

As espécies que têm apresentado os melhores resultados em sistemas ILPf são o *Panicum maximum*, a *Brachiaria decumbens* e a *B. brizantha*. Tendo em vista que o gênero *Brachiaria* ocupa 85% de toda área de pastagem cultivada no Brasil central, das quais 50% são da espécie *Brachiaria brizantha* (MACEDO, 2005), em razão da excelente adaptação das braquiárias aos ecossistemas brasileiros, é necessário investigar a resposta dessas forrageiras a diversos níveis de sombreamento

2.5 Hipóteses

O espaçamento entre os renques de árvores determina a disponibilidade de luz no sub-bosque, e conseqüentemente o microclima que será gerado pela componente arbóreo, promovendo modificações na composição da forragem ofertada aos animais, de forma quantitativa e qualitativa, que influenciam o desempenho animal. As plantas forrageiras apresentam modificações morfofisiológicas e estruturais que lhes conferem capacidade de compensar a menor incidência de luz pelo aumento na eficiência fotossintética ao longo do dia.

2.6 Objetivos

- Avaliar e compreender a influência do crescimento das árvores sobre a produtividade de sistemas integrados com diferentes densidades de árvores ao longo do tempo (227 árvores.ha⁻¹ e 357 árvores.ha⁻¹);
- Avaliar e compreender as alterações microclimáticas, em diferentes distâncias dos renques de árvores, e como esse microclima gerado influencia nas respostas

agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã ao longo do dia nas estações do ano.

Referências

- ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L. et al. Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos cerrados de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1178-1185, 2001.
- ANDRADE, C.M.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C. et al. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.263-270, 2004.
- BALLARÉ, C. L. Keeping up with the neighbours: phytochrome sensing and other signalling mechanisms. **Trends Plant Sci.**, v. 4, n. 3, p. 97-102, 1999.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração LavouraPecuária-Floresta (ILPF). Informações Agronômicas IPNI, n. 138, p. 1-18, jul. 2012.
- BERNARDI, F. S.; GARCIA R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, Edição Especial, n. 60, p. 77-87, 2009.
- BRASIL. (2015). Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil (em processo de revisão). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: M
- BODDEY, R. M., URQUIAGA, S., JANTALIA, C. P., ALVES, B.R.J. Balanço de carbono em sistemas pastoris e de integração lavoura-pecuária no Brasil. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27, PIRACICABA, 2015. **Anais...** Piracicaba : FEALQ, 2015, p.153-178.
- CARVALHO, M.M.; SILVA, J.L.O.; CAMPOS JR., B.A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.213-218, 1997.
- CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F.; Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 717-722, maio de 2002.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICOLLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Research**, v. 103, p. 342-349, 2009.
- COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. et al. Avaliação agronômica de gramíneas forrageiras sob sombreamento de seringueira adulta. In: Congresso Brasileiro em Sistemas Agroflorestais, 2., 1998, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa-CPATU, 1998. p.201-203.
- CRESTANI, S., SILVA, S. .C. Uso do critério de interceptação de luz para o manejo do pastejo em área de pastagens de sistemas integrados com componente arbóreo. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27, PIRACICABA, 2015. **Anais...** Piracicaba : FEALQ, 2015, p.83-112.

CRUZ, P. et al., Effect of shade on growth, nitrogen content and CO₂ leaf assimilation in a tropical perennial grass. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. (eds) The ecophysiology of tropical intercropping. INRA Editions: PARIS. 1995. P. 285-293.

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Formação de Pastagem - Primeiro Passo para a Sustentabilidade. In: OBEID, J. A.; PEREIRA, O. G.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JR. D. (coord.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 1 ed. Viçosa: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, 2002. p. 1-

FARIA, D.J.G.; CUNHA, D.N.F.V.; MARTUSCELLO, J.A. et al. Desenvolvimento de cultivares de *Panicum maximum* submetidos a diferentes níveis de sombreamento. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 42., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. (CD-ROM).

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification. Integrated Crop Management, v. 13, 64p., 2010.

FELDHAKKE C. M.; BELESKY D. P. Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schendonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 75, p. 189-196. 2009.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p. (Embrapa Acre. Documentos, 74).

FREITAS, E.C.S. de; OLIVEIRA NETO, S.N. de; FONSECA, D.M. da; SANTOS, M.V.; LEITE, H.G.; MACHADO, V.D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. *Revista Árvore*, v.37, p.409-417, 2013. DOI: 10.1590/S0100-67622013000300004

GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W. S. T; ONGE, K. R; VOESENEK, L. A. C. J; PIERIK, R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science* 18, 65–71. 2013.

GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; RODRIGUES, J. A. S. Recomendações de densidade de plantio e taxas de semeadura de culturas anuais e forrageiras em plantio consorciado. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 62). SORGO NA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (PDF Download Available). Available from: HYPERLINK

"https://www.researchgate.net/publication/271824829_SORGO_NA_INTEGRACAO_LAVOURA-PECUARIA-FLORESTA" https://www.researchgate.net/publication/271824829_SORGO_NA_INTEGRACAO_LAVOURA-PECUARIA-FLORESTA [accessed Sep 1, 2017].

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapas de biomas do Brasil, 2006. Disponível em: . Acesso em: 27 julho. 2017.

IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Ed) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 3-29.

JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; RESENDE, M.D.V. et al. A exploração de algumas características agrônômicas e morfológicas na seleção de *Panicum maximum* para condições

silvispastoris. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. (CD- ROM)

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 44, p. 109–119, 1999.

KENDRICK, R.E; KRONENBERG, G.H.M. (Ed.). Photomorphogenesis in Plants. 2nd ed. Dordrecht: Academic Publishers, 1994.

MARENGO J.A.; JONES, R; ALVES, L.M.; VALVERDE, M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 30, p. 1-15, 2009. DOI: 10.1002/joc.1863

MARTUSCELLO, J.A. et al. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira Zootecnia*, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MULLER M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in silvopastoral system. *Livestock Science*, v.141, n.2-3, p.166-172, 2011.

PECUS. Glossário da rede de pesquisa Pecus. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2015. 17p. Disponível em: < <http://www.cppse.embrapa.br/redepecus/sites/default/files/glossario%20PECUS%20revisado%20FINAL.pdf> > <http://www.cppse.embrapa.br/redepecus/sites/default/files/glossario%20PECUS%20revisado%20FINAL.pdf> >. Acesso em 29 jun.2017

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.772-807

PERI, P. L. Leaf and canopy photosynthesis models of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) grown in a silvopastoral system. 2002. 291 f. Thesis (PhD) – Lincoln University, Lincoln, Canterbury, New Zealand, 2002.

RHODES, I. Relationship between canopy structure and productivity in herbage grasses and its implication for plant breeding. **Herbage Abstracts**, v.43, p.129-133, 1973.

SÁNCHEZ, S.; HERNÁNDEZ, M.; SIMÓN, L. Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa Nazareno. **Pastos y Forrajes**, v.26, p.131-136, 2003. VARELLA, A. C., PORFIRIO-DA-SILVA, V., RIBASKI, J. SOARES, A. B. MORAES, A., MORAIS, H. SAIBRO, J. C., BARRO, R. S. Estabelecimento De Plantas Forrageiras Em Sistemas De Integração Florestapecuária no Sul do Brasil In: Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira / editores, Renato Serena Fontaneli, Henrique Pereira dos Santos, Roberto Serena Fontaneli ; 2. ed. - Brasília, DF : Embrapa, 2012

VALLE, C. B., SOUZA, F. H. D. Construindo novas cultivares de gramíneas forrageiras para os cerrados brasileiros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.3-7.

VARELLA, A. C. SILVA, V. P. DA, RIBASKI, J.; SOARES, A. B.; MORAES, A.; MORAIS H.; SAIBRO; J. C. DE; BARRO, R. S. Estabelecimento de Plantas Forrageiras em Sistemas de Integração Floresta-pecuária no Sul do Brasil. In: Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.

dos; Fontaneli, R. S. Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira. - Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2009.

WONG, C.C. 1991. Shade tolerance of tropical forages: a review. In: SHELTON, H.M., STÜR, W.W. (eds.). Forages for plantation crops – Proceedings, n.32. Canberra: ACIAR, p. 64-69 (Proceedings of a Workshop, 1990, Bali).

3. CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS DO PASTO DE *BRACHIARIA BRIZANTHA* CV. BRS PIATÃ EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA AO LONGO DOS ANOS

Resumo

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta se destacam como estratégias para recuperação de áreas degradadas e para adaptação e mitigação dos efeitos negativos das emissões de gases de efeito estufa, devido aos diversos benefícios que o sinergismo do sistema ocasiona. Entretanto, por se tratar de um sistema complexo, que apresenta constantes modificações e interações entre seus componentes bióticos e abióticos, existem ainda limitações técnicas para sua adoção em longo prazo, principalmente no que diz respeito à produção pecuária. Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da progressão do sombreamento e das mudanças no microclima gerado pelas árvores de eucalipto dispostas em renques sobre as características produtivas do pasto de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã e o ganho de peso animal ao longo dos anos em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Foram comparados dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento entre linhas simples de árvores de eucalipto de 14 m (ILPF14) e de 22 m (ILPF22), e um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP, a pleno sol), com estratégia de rotação de culturas de 4 anos, sendo 1 ano de lavoura e 3 de pasto. A *Brachiaria brizantha* cv. Piatã foi utilizada como componente forrageiro da pastagem. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema de faixas subdivididas, com 4 repetições. Avaliou-se a produção de forragem e desempenho novilhas nelore, durante 2 ciclo de rotação, primeiro de 2010 a 2012, e o segundo de 2013 a 2016. O sistema ILP possibilita maior produtividade forrageira e consequentemente, maior produção animal, com animais pastejando durante o ano todo. Nos sistemas arborizados, o espaçamento de 22m permitiu maior produção animal que o sistema com espaçamento entre renques simples de árvores de 14m.

Palavras-chave: Desempenho animal, sombreamento, sistemas agrossilvipastoril, valor nutritivo.

Abstract

Agroforestry systems are an important strategy for the recovery of degraded areas and for adaptation and mitigation to projections of global warming. However, due to its complexity and the constant modifications and interactions between its biotic and abiotic components, there are still technical limitations for its adoption in the long term, mainly with respect to livestock production. The objective of this work was to evaluate the effect of shading progression and microclimate generated by eucalyptus trees arranged in rows on the productive characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã and the live weight gain of nelore heifers over the years in crop-livestock-forest integration systems. Two crop-livestock-forest integration systems, with single row spacing of 14 m (ILPF14) and 22 m (ILPF22) eucalyptus trees (ILPF22), and a crop-livestock integration system (ILP, in full sun) were compared, with a crop rotation strategy of 4 years (1 year of crop cultivation and 3 years of pasture). *Brachiaria brizantha* cv. Piatã was used as forage species. A randomized complete blocks design, arranged in a split strips scheme, with 4 replicates, was used. The forage production and performance of nelore heifers were evaluated during 2 rotation cycle, from 2010 to 2012, and from 2013 to 2016. The ILP system allows higher forage yield and,

consequently, higher animal production, with grazing animals throughout the year. In the tree systems, the spacing of 22m allowed greater animal production than the system with spacing between single row of trees of 14m.

Keywords: Animal performance, shading, agroforestry systems, nutritional value.

3.1 Introdução

A pecuária de corte é uma das atividades agropecuárias mais importantes para o Brasil. No ano de 2015 o país se posicionou como detentor do maior rebanho bovino comercial (209 milhões de cabeças), o segundo maior consumidor (38,6 kg/habitante/ano) e o segundo maior exportador (1,9 milhões toneladas equivalente carcaça) de carne bovina do mundo, tendo abatido mais de 39 milhões de cabeças (Gomes et al., 2017). Esses resultados advêm, principalmente, das características climáticas e da extensão territorial do país, que permite que a produção de carne bovina brasileira, em suma maioria, tenha como base as pastagens. O uso do pasto representa a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os bovinos (Dias-Filho, 2013), além do crescente apelo mercadológico, do chamado “boi verde” ou “boi de capim” (grass-fed beef), que apresenta melhoria no bem-estar animal, e a geração de um produto tido como mais saudável, com qualidade nutricional elevada (DALEY et al., 2010), que conquistou mercados mais exigentes.

Contudo, a produção pecuária nacional encontra-se ainda aquém do seu real potencial, e historicamente, tem sido associada à alta incidência de pastagens degradadas, e à imagem de atividade improdutiva e essencialmente danosa ao meio ambiente (Dias-Filho, 2014). De acordo Berndt (2012), a pecuária brasileira vem sofrendo grandes pressões das comunidades nacionais e internacionais em relação à sua contribuição para o aquecimento global, sendo que dois pontos principais afetam negativamente a imagem do setor: a pecuária na Amazônia, relacionada ao desmatamento; e a emissão de metano, que é um gás naturalmente produzido pelo processo de fermentação do ruminante. Estudos internacionais indicam que o aumento da produtividade das pastagens diminui a emissão de metano, por kg de produto (leite ou carne), com comprovadas evidências de que a recuperação de pastagens estimula o acúmulo de carbono no solo, ou seja, permite “sequestrar” carbono da atmosfera, contribuindo para mitigação das emissões de gases de efeito estufa (Boddey et al., 2015).

Nos últimos anos, essas pressões ambientais e de mercado, tem direcionando a pecuária desenvolvida a pasto a uma fase de refinamento, marcada pela busca de maior produtividade via intensificação com menor impacto ambiental (MARTHA JUNIOR et al.,

2012). O setor produtivo tem sido incentivado a adotar novas tecnologias (técnicas de recuperação e manejo de pastagens, lançamento de cultivares mais produtivas de capins, melhoramento genético do rebanho, etc), isto é, a produzir maior quantidade de carne ou de leite em menores áreas de pastagem, e a ser mais eficiente no uso dos recursos naturais (Dias-Filho, 2014).

Nesse contexto, uma tecnologia que tem se destacado é a integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), na qual são desenvolvidas as atividades agrícolas, pecuárias e florestais, simultânea ou sequencialmente, em consórcio, rotação ou em sucessão na mesma área (Balbino et al., 2011). Segundo Moraes et al. (2002), a adoção de sistemas integrados promove o uso mais eficiente dos recursos ambientais, possibilitando a manutenção das características químicas, físicas e biológicas do solo, o controle de erosão, o aumento dos níveis de produção animal e vegetal, com rentabilidade maior e mais estável das culturas, o incremento no controle de ervas daninhas e a quebra de ciclos de pragas e doenças, a redução na utilização de insumos, e ainda maior fixação de carbono via componente arbóreo. Além de proporcionar benefícios diretos e indiretos aos animais, como o fornecimento de sombra e melhoria das condições microclimáticas e ambientais (Alves et al., 2010).

Tais características levaram a FAO (2010) a considerar esses sistemas como uma das atividades mais sustentáveis e de baixo impacto ambiental da agropecuária, com potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, sendo recomendada como alternativa aos sistemas convencionais de produção de ruminantes, e para recuperação de áreas degradadas (Balbino et al., 2012).

No Brasil o interesse pela adoção desses sistemas tem crescido cada vez mais, principalmente após o governo brasileiro criar o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) em 2010, disponibilizando linhas de créditos específicas para a sua implantação. Estima-se que existam cerca de 67,8 milhões de hectares de áreas aptas para serem utilizadas por diversos modelos de sistemas de integração no Brasil, sem a necessidade de abertura de novas áreas, podendo duplicar ou até triplicar a produção agropecuária atual (Balbino et al., 2011).

Contudo, o sucesso de um sistema integrado depende de diversos fatores, pois são sistemas dinâmicos e complexos nos quais os componentes interagem entre si (Carvalho et al., 2015). Alguns pré-requisitos básicos devem ser considerados, como: plantio direto, rotação/diversificação dos cultivos, uso de insumos e genótipos melhorados, plantas forrageiras tolerantes ao sombreamento, manejo correto dos pastos, sempre preconizando a manutenção de estruturas de pastos que otimizem a colheita da forragem pelo animal e o mantenham sob intensidades de pastejo que não venham a comprometer o sistema (Carvalho

et al., 2011; Almeida et al., 2015). Vale ressaltar que antes da implantação de um sistema ILPF é preciso ter consciência que as árvores serão componentes permanentes no sistema, ao menos no médio prazo, e, além de constituírem uma barreira física, para semeadura de culturas anuais, também proporcionarão um microclima que afetará diretamente o desenvolvimento das plantas forrageiras (Crestini e Silva, 2015).

O arranjo espacial do componente arbóreo, representado pela densidade e a disposição das árvores na área de pastagem, é uma das principais características a se levar em conta, pois determinará a disponibilidade de radiação para o sub-bosque (Oliveira et al., 2007). Com o crescimento das árvores há uma diminuição progressiva da radiação disponível para o sub-bosque, que influencia a produtividade do pasto (Paciullo et al., 2007).

O sombreamento pode comprometer a produção de forragem, mas há evidências de alguns benefícios em determinadas condições de sombreamento moderado. Até 35 % de sombreamento, algumas gramíneas, que apresentam tolerância mediana a esse tipo de ambiente, podem manter sua produção semelhante à do cultivo a sol pleno ou mesmo aumentar, quando estabelecidas em solos pobres em nitrogênio (Sousa et al., 2010). Paciullo et al. (2008), avaliando a *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril com sombreamento de 35%, obteve produção de forragem semelhante a pleno sol. Outro fator importante a se considerar é o valor nutritivo do pasto, que também é influenciado pela presença de árvores em sistemas arborizados, principalmente em razão de adaptações morfofisiológicas (Paciullo et al., 2008).

Em condições de sombreamento, aumentos no teor de nitrogênio na folha podem repercutir em melhorias do teor protéico da forragem (Sousa, 2009). Na literatura, também há resultados indicativos de variação nos teores de fibra e na digestibilidade de forrageiras submetidas ao sombreamento (Lin et al., 2001; Sousa et al., 2010). Sob sombreamento, as plantas forrageiras tendem a estiolar, entretanto, os colmos se tornam mais tenros. Tais características do valor nutricional da forragem têm reflexos diretos sobre a produtividade animal, e contribuem para incrementar o ganho em peso, bem como podem propiciar melhoria de parâmetros ruminais podendo reduzir a metanogênese (Montenegro, et al., 2000).

Diante deste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da progressão do sombreamento das árvores de eucalipto, em diferentes espaçamentos, sobre a produtividade de sistemas ILPF implantados com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área experimental

O presente trabalho faz parte da Rede PECUS da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que avalia a dinâmica de gases de efeito estufa (GEE) e o balanço de Carbono (C) em sistemas de produção agropecuários nos diferentes biomas brasileiros (Embrapa, 2018). O experimento foi realizado na unidade de referência tecnológica (URT) em sistemas agrossilvipastoris da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS (latitude 20°27' Sul, longitude 54°37' Oeste e Altitude de 530 m). A região encontra-se no Bioma Cerrado, o clima segundo a classificação de Köppen, pertence à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido, e a precipitação média anual é de 1.560 mm, com períodos definidos de chuva, nos meses mais quentes, de setembro a abril; e de seca, nos meses frios do ano, de maio a agosto. Os dados de temperatura e precipitação durante o período experimental, para cada ciclo de rotação foram registrados pela estação meteorológica da Embrapa Gado de Corte, e são apresentados juntos com os dados climatológicos históricos, dos últimos 30 anos, obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Metrologia (INMET), localizada junto a Embrapa Gado de Corte (Figura 1).

O solo da área apresenta relevo plano, e é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. A análise química de amostras de solo, no ano de implantação do sistema, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, revelou que a área era relativamente uniforme, com teores de argila de $41 \pm 5\%$, com os seguintes valores: $\text{pH} (\text{CaCl}_2) = 5,04$; $\text{P}_{(\text{Mehlich})} = 6,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K}_{(\text{Mehlich})} = 61 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 2,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,13 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Al} = 4,33 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{S} = 3,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{V} = 43\%$.

Figura 1 – Média dos índices pluviométricos e das temperaturas máximas e mínimas (Precipitação Tmín e Tmáx, respectivamente), no período de seca e águas, dos anos, do primeiro (A) e segundo (B) ciclo de rotação dos sistemas integrados, e média histórica climatológica (Precipitação H, Tmín.H e Tmáx.H) dos últimos 30 anos, na região de Campo Grande, MS, Brasil.

Histórico da área

Por cerca de 30 anos, a área foi utilizada como pastagem extensiva para alimentação do rebanho da fazenda experimental. A área apresentava-se em fase de degradação e era composta por gramíneas das espécies *B. decumbens*, *B. humidicola* e *B. ruziziensis*, *Paspalum notatum*, com baixa capacidade produtiva, alta ocorrência de brotação da vegetação natural do Cerrado e cupinzeiros.

Em agosto de 2008, iniciou o processo de renovação da área, pelo método convencional. Foi realizado o preparo da área (limpeza, dissecação da vegetação, calagem, aração pesada, adubação e gradagem com grade niveladora), posteriormente, em novembro de 2008, foi realizado o plantio da soja, utilizando-se a cultivar BRS 245 RR, de acordo com as recomendações de Gontijo Neto (2006), deixando-se ruas de 2,0 m de largura nos espaçamentos pré-determinados, para transplântio de mudas de clone H13 de *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*), que ocorreu em janeiro de 2009, em linhas simples orientadas -20,41° sul e -54,71° oeste em relação ao eixo leste-oeste, de acordo com recomendações de Sousa e Lobato (2002).

3.2.2 Arranjo da área experimental

A área experimental foi implantada durante o período da safra de 2008/2009. Foram estabelecidos três sistemas integrados: ILP – integração lavoura-pecuária (tratamento controle a pleno sol); ILPF14 – integração lavoura-pecuária-floresta com arranjo de 14x2 m, totalizando 357 árvores de eucalipto.ha⁻¹; e ILPF22 – integração lavoura-pecuária-floresta com arranjo de 22x2 m, totalizando 227 árvores de eucalipto.ha⁻¹.

Os sistemas foram planejados seguindo a estratégia de rotação de culturas de quatro anos, com plantio direto, sendo um ano de lavoura, com soja (cv. BRS 245 RR) na safra, e estabelecimento de capim (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) em consócio com sorgo forrageiro (cv. BRS 310) na entressafra, permanecendo pastagem por três anos.

As avaliações foram realizadas no período de maio de 2010 a julho de 2016. Por se tratar de um experimento de longa duração, foi realizada a compilação de todos os dados gerados, relacionados à produção de forragem e desempenho animal.

Com a inclusão das árvores, a área de pasto nos piquetes tiveram redução de 9 e 6 %, para os sistemas ILPF14 e ILPF22, respectivamente. A cada 6 meses, com auxílio de clinometro eletrônicos, foi medida a altura de 30 árvores, que compunha a média do sistema. Também foram realizadas leituras da radiação fotossinteticamente ativa incidente ao longo do transecto entre os renques de árvores, com ceptometro portátil Acuppar, sendo que no

momento da leitura da radiação nos sistemas ILPF eram tomadas leituras de referencia da radiação fotossinteticamente ativa a pleno sol. A porcentagem média de sombra dos sistemas (A) foi calculada pela absorção de radiação das árvores:

$$(A) = [(I_0 - I) / I_0] * 100$$

Onde, I_0 = radiação a pleno sol; I = radiação no sub-bosque

Os valores da porcentagem de sombreamento e a altura das árvores podem ser verificados na tabela 1.

Tabela 1. Altura das árvores (m) e porcentagem de sombra (%) nos sistemas de integração-lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 14x2m (ILPF14) e com 22x2m (ILPF22), ao longo dos anos e dos ciclos de rotação, em Campo Grande, MS.

			ILPF14		ILPF22	
			Altura	Sombra	Altura	Sombra
1 Ciclo	1 ° Ano	Agosto/2010	9,8	29	9,0	28
		Fevereiro/2011	13,0	28	11,9	27
	2 ° Ano	Agosto/2011	14,9	38	15,2	35
		Fevereiro/2012	18,6	32	17,3	30
	3 ° Ano	Julho/2012	19,9	45	19	45
Lavoura		Fevereiro/2013	22,6	41	21,6	40
Plantio Pasto		Julho/2013	24,0	50	22,2	47
2 Ciclo	1 ° Ano	Fevereiro/2014	24,4	46	23,3	45
		Agosto/2014	24,9	58	24,2	55
	2 ° Ano	Fevereiro/2015	25,6	48	24,4	46
		Julho/2015	27	61	25	57
	3 ° Ano	Fevereiro/2016	27,5	55	26,2	48
		Agosto/2016.	29,0	76	28,2	61

3.2.3 Avaliações

1º Ciclo de Rotação

O primeiro ciclo de rotação iniciou com o plantio da soja na safra 2008/2009, após a colheita da soja em março de 2009, foi realizada nova adubação a lanço (200 kg.ha⁻¹ da fórmula 05:25:15), para o plantio do capim-piatã em consorcio com sorgo forrageiro, em abril 2009, de acordo com as recomendações de Gontijo Neto et al. (2006). A colheita do sorgo foi realizada em julho de 2009, quando os grãos atingiram o estágio farináceo, deixando-se um resíduo de 0,20-0,30 m de altura do solo.

Tecnicamente o pasto de capim-piatã estaria disponível para pastejo a partir de outubro de 2009, entretanto, como as árvores não apresentavam altura suficiente e seriam afetadas pelos animais, esperou-se o tempo necessário para que as árvores apresentassem cerca de 1,30 m de DAP (diâmetro de altura do peito), que ocorreu em março de 2010, sendo realizado então a desrama. Em novembro de 2009 foi realizado o processo de fenação do capim-piatã para não se perder a forragem e nem comprometer a estrutura do pasto. Após esse processo, em maio de 2010 foi os animais foram levados aos pastos.

As avaliações da produtividade do capim-piatã, foram realizadas de maio de 2010 a junho 2012. Nesse primeiro ciclo, , além dos sistemas, foram adotadas duas alturas de manejo do capim, 15 e 30 cm. Desta forma, a área experimental foi inicialmente dividida em dois blocos (Figura 2). Como o manejo do capim na altura de 15 cm não se mostrou sustentável (Coelho, 2011; Behling Neto, 2012; Oliveira et al 2013), este não foi utilizado durante o 2º ciclo de pasto. Dessa forma, para este trabalho, foram utilizados apenas os dados do pasto manejado a 30 cm de altura, que permitiam a comparação da produção do 1º ciclo e do 2º ciclo.

No primeiro ciclo, devido a necessidade de se esperar pelo crescimento das árvores para entrada dos animais, foram avaliados apenas 2 anos e meio de pastejo, obtendo 3 períodos de seca e 2 de águas, conforme a tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos meses de avaliação, dentro de cada período do ano, do primeiro ciclo de rotação dos sistemas integrados.

	Período de seca	Período de águas
1º ano	Estabelecimento do sistema - sem avaliação -	
2º ano*	maio a agosto/2010	novembro/2010 a abril/2011
3º ano **	agosto a outubro/2011	novembro/2011 a abril/2012
4º ano	maio a agosto/2012	***

* os animais foram retirados do piquete em agosto, após incidente de queimada nos sistemas, retornando em novembro.

** anos que apresentaram secas proeminentes; como os dados de coletas realizados no início de outubro são referentes a setembro foram considerados no período de seca.

***os animais foram retirados para preparo da área e plantio da lavoura

Figura 2 – Representação esquemática do croqui da área experimental, apresentando os blocos (B...) e piquetes (P...) dos sistemas (ILP: integração lavoura pecuária; ILPF1: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 14x2 m, com 357 árvores.ha⁻¹; ILPF2: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 22x2 m, com 227 árvores.ha⁻¹).

A massa de forragem foi avaliada pelo método direto, com cortes da forragem rente ao solo, com auxílio de um quadro de 1m, e ceifadeira costal motorizada, a cada 28 dias, em pontos representativos do pasto. Nesse ciclo, como as árvores nos sistemas ILPF apresentavam a projeção da sombra da copa mais próxima das árvores foram realizadas amostragens a 2 m de distancia das árvores, na direção sul e norte e ao centro entre os renques (Figura 3).

A forragem coletada foi pesada logo após o corte, e todos os pontos avaliados compuseram a média do sistema, sendo retirada uma sub-amostra representativa para posterior separação morfológica, de folha (lâmina foliar), colmo (bainha+colmo) e material morto. Após a separação morfológica o material foi levado à estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingir peso constante, para determinação da porcentagem de matéria seca da massa de forragem.

A produtividade total de forragem e dos componentes, a relação folha: colmo, a relação material vivo: morto e a proporção de invasoras foram estimados em base seca. Os componentes lâmina foliar e colmo + bainha foram triturados em moinho com peneira de 20 *mesh* e analisadas por meio de espectroscopia de reflectância de luz próxima do infravermelho (NIRS), quanto aos teores de proteína bruta (PB), e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (DIVMO), de acordo com Marten et al. (1985).

Figura 3 – Representação esquemática da alocação das unidades amostrais: (A) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta ao longo do transecto (ILPF14, arranjo de 14x2 m e ILPF22, arranjo de 22x2 m, com 227 árvores.ha⁻¹) e (B) no ILP: integração lavoura pecuária aleatoriamente.

Os dados de desempenho animal foram obtidos utilizando novilhas Nelore, com peso médio inicial de 150 kg de PV. Foram utilizadas as mesmas novilhas durante os 3 anos do ciclo. A taxa de lotação foi ajustada de forma a manter o pasto com altura média de 30 cm (Euclides et al., 2011). Foram utilizados três animais-teste por piquete, e animais reguladores, para garantir a manutenção da altura do pasto pré-determinada, conforme a técnica de taxa de lotação variável (Mott e Lucas, 1952). Os animais foram pesados individualmente a cada 28 dias, com jejum prévio de 16 horas. Todos foram vacinados segundo calendário sanitário oficial, vermifugados no início do experimento e durante todo período experimental receberam água e suplementação mineral à vontade.

O ganho de peso médio diário (GMD, kg animal.dia⁻¹) foi calculado pela diferença de peso dos animais avaliadores, dividida pelo número de dias entre as pesagens. A taxa de lotação (TL, UA ha⁻¹) mensal foi calculada como o produto do peso médio dos animais, pelo número de dias em que permaneceram nos piquetes.

2º Ciclo de Rotação

O segundo ciclo de rotação iniciou com o plantio da soja na safra de 2012/2013, após sua colheita março 2013, foi realizada nova adubação a lanço (200 kg.ha⁻¹ da fórmula 05:25:15), para o plantio do capim-piatã em consorcio com sorgo forrageiro, em abril 2013, de acordo com as recomendações de Gontijo Neto et al. (2006). A colheita do sorgo foi realizada em julho de 2013, quando os grãos atingiram o estágio farináceo, deixando-se um resíduo de 0,20-0,30 m de altura do solo.

As avaliações do segundo ciclo de rotação foram realizadas de novembro de 2013 a julho de 2016. A distribuição dos tratamentos seguiu o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições (Figura 4). Nesse ciclo obteve-se 3 anos completos de pastejo (tabela 3). O plantio do capim-piatã foi realizado em março de 2013, após a colheita soja

Figura 4 – Representação esquemática do croqui da área experimental, apresentando os blocos (B...) e piquetes (P...) dos sistemas (ILP: integração lavoura pecuária; ILPF1: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 14x2 m, com 357 árvores.ha⁻¹; ILPF2: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 22x2 m, com 227 árvores.ha⁻¹).

Tabela 3. Descrição dos meses de avaliação, dentro de cada período nos três anos do segundo ciclo de rotação dos sistemas integrados.

	Período de águas	Período de seca
1º ano	novembro/2013 a abril 2014	maio a setembro/2014
2º ano *	outubro/2014 a março/2015	junho a setembro/2015
3º ano	outubro/2015 a abril/2016	maio a julho/2016

* anos que apresentaram secas proeminentes; como os dados de coletas realizados no início de outubro, são referentes a setembro foram considerados no período de seca.

A massa de forragem foi avaliada pelo método direto, com cortes da forragem rente ao solo, com auxílio de um quadro de 1m² e ceifadeira costal motorizada, a cada 28 dias, em pontos representativos do pasto. Nesse ciclo como as árvores nos sistemas ILPF apresentavam cerca de 25 m no início das avaliações e o sombreamento entre os renques era variável, as amostragens passaram a ser realizadas em cinco pontos equidistantes (A, B, C, D, E) entre os renques. Os pontos A e E eram alocados a 1 m dos troncos das árvores, o C correspondia à metade da distância entre os dois primeiros pontos, e os pontos B e D eram intermediários aos mesmos (Figura 5).

Figura 5 – Representação esquemática da alocação das unidades amostrais: (1) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta ao longo do transecto (ILPF14, arranjo de 14x2 m e ILPF22, arranjo de 22x2 m, com 227 árvores.ha⁻¹) e (2) no ILP: integração lavoura pecuária aleatoriamente.

O manejo do pasto, as avaliações da forragem e o desempenho animal foram realizados de forma semelhante ao primeiro ciclo. No entanto, a partir do segundo ciclo de rotação (2013), adotou-se a estratégia de adubação de manutenção, sendo 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, e 300 kg.ha⁻¹ N-P-K da fórmula (0-20-20), realizadas todo ano no mês de janeiro, no período das águas.

3.2.4 Análises estatísticas

Para as análises estatísticas dos dados de massa de forragem, valor nutritivo, ganho médio diário, e taxa de lotação e desempenho animal, foram agrupados em período seco (maio a setembro) e período de águas (outubro a abril), em cada ano dos ciclos de rotação. Com auxílio do pacote estatístico SAS, foi aplicado o procedimento GLM, sendo submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para comparação entre os ciclos, foram considerados os dados de massa de forragem e taxa de lotação, esses foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SAS versão 9.1

3.3 Resultados

Até o segundo ano do primeiro ciclo, não houve diferença na massa de forragem verde média dos sistemas integrados de produção; a partir do terceiro ano do primeiro ciclo, a massa de forragem verde média dos sistemas arborizados foi menor que aquela do sistema a pleno sol (Tabela 4). A taxa de lotação do sistema ILPF14 foi inferior à observada no sistema a pleno sol desde o primeiro ano de pastejo; já no sistema ILP22, a taxa de lotação só diferiu do sistema a pleno solo no final do segundo ciclo de avaliações (Tabela 4).

Tabela 4. Massa de forragem verde média do capim-piatã (MF) e taxa de lotação (TL) nos sistemas em sistemas integrados em dois ciclos de rotação.

Ciclo	Sistema	Kg MS.ha ⁻¹			TL		
		1 Ano	2 Ano	3Ano	1 Ano	2 Ano	3Ano
1°	ILP	--	4817 a	3149 a	--	3.2 a	1,51 a
	ILPF22	--	3120 a	2403 b	--	2.7 ab	1,33 ab
	ILPF14	--	4463 a	2710 ab	--	2.4 b	0,94 b
2°	ILP	2901a	2200 a	3236 a	3,36 a	1,51 a	1,9 a
	ILPF22	1839b	1414 b	1554 b	2,96 a	1,33 ab	1,1b
	ILPF14	1325b	1008 b	1036b	2,14 b	0,94 b	0,7b

Os dados referentes aos períodos de seca e águas, do primeiro ciclo de rotação dos sistemas integrados, estão na Tabela 5. A massa de forragem verde média (MSFV) do capim-piatã foi influenciada pelo sombreamento proporcionado pelas árvores desde o primeiro ano de pastejo (Tabela 5). No primeiro ano, não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os sistemas arborizados (ILPF14 e ILPF22), mas ambos apresentaram menor produção massa de forragem que o sistema ILP, a pleno sol (Tabela 5). A partir do segundo ano, o ILPF14 apresentou menor massa de forragem verde média e menor taxa de lotação que os demais sistemas (Tabela 5). Houve uma tendência de melhor qualidade da forragem nos sistemas arborizados, porém os teores médios de proteína bruta e de DIVMO não diferiram entre os sistemas ($P>0,05$; Tabela 5). O ganho de peso vivo médio diário variou de 0,017 a 0,791 g.animal⁻¹.dia⁻¹ ao longo de todo o ciclo (Tabela 5). Os maiores ganhos de peso vivo foram

observados no período seco do primeiro ano, logo após a implantação do pasto, e os menores no período seco do segundo ano do ciclo (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de altura, massa de forragem verde média (MF), taxa de lotação (TL), ganho de peso vivo médio diário por animal (GMD), teor de proteína bruta (%PB) e digestibilidade in vitro da matéria orgânica (%DIVMO), em sistemas integrados de produção durante o primeiro ciclo de rotação, com estratégia de rotação de 4 anos (1 ano lavoura e 3 anos de pastagens).

Ano	Sistema	Altura (cm)	MF (kg .ha ⁻¹)	TL (UA. ha ⁻¹)	GMD (kg.dia ⁻¹)	PB (%)	DIVMO (%)
<i>Período de Seca</i>							
2	ILPF14	28	2.029,5	1,5	0,528	7,1	50,2
	ILPF22	36	2.529,7	0,8	0,791	6,1	49,3
	ILP	24	7.909,3	1,9	0,528	6,8	49,8
	<i>Período de Águas</i>						
	ILPF14	60	3.870,9	1,18	0,164	10,1	59,0
	ILPF22	61	4.155,3	1,91	0,359	9,1	57,1
3	ILP	54	4585,3	1,73	0,209	8,5	50,4
	<i>Período de Seca</i>						
	ILPF14	39	1.780,7	0,99	0,051	9,9	57,8
	ILPF22	41	2.778,5	1,45	0,018	9,1	59,1
	ILP	32	4.227,1	1,22	0,017	8,5	52,4
	<i>Período de Águas</i>						
4	ILPF14	49	2.879,0	0,91	0,351	10,5	56,1
	ILPF22	54	4.120,7	1,22	0,243	9,6	57,9
	ILP	55	7.470,7	1,68	0,350	7,8	50,4
	<i>Período de Seca</i>						
	ILPF14	39	4.878,4	0,91	0,350	10,6	45,4
	ILPF22	34	7.581,4	1,22	0,243	9,1	44,1
4	ILP	45	7.774,3	1,68	0,349	8,3	40,6

No segundo ciclo de avaliação, a massa de forragem verde média e a taxa de lotação nos sistemas arborizados foram inferiores ao sistema a pleno sol, principalmente o sistema ILPF14 (Tabela 6). Em alguns momentos nos período da seca do segundo e terceiro ano de pastejo, devido à baixa quantidade de forragem disponível ao animal, foi necessário retirar todos os animais dos piquetes. No sistema ILPF14 não houve pastejo nos meses de agosto a outubro, e no sistema ILPF22 nos meses de setembro e outubro.

Maiores teores de proteína bruta e de DIVMO foram encontrados na massa de forragem nos sistemas sombreados, contribuindo para que o ganho de peso vivo médio animal diário fosse semelhante nos sistemas ao longo dos períodos dos anos, com exceção do período da seca do terceiro ano, quando os sistemas ILPF estavam com sombreamento intenso, apresentando GMD menor que os sistemas a pleno (Tabela 6). Apesar de não ter se constatado diferenças estatísticas no período das águas do último ano do segundo ciclo de rotação, houve ligeiro GMD por animal, nos sistemas arborizados, possivelmente devido ao incremento na qualidade da forragem, aliado ao conforto térmico que o sistema fornece aos animais.

Tabela 6. Valores médios de altura, massa de forragem verde média (MF), taxa de lotação (TL), ganho de peso vivo médio diário por animal (GMD), teor de proteína bruta (%PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica (%DIVMO), em sistemas integrados de produção durante o segundo ciclo de rotação, com estratégia de rotação de 4 anos (1 ano lavoura e 3 anos de pastagens).

Ano	Sistema	Altura (cm)	MF (kg .ha ⁻¹)	TL (UA. ha ⁻¹)	GMD (kg.dia ⁻¹)	PB (%)	DIVMO (%)
1	<i>Período das águas</i>						
	ILPF14	86	1.843,1	2,13	0,567	13,5	58,6
	ILPF22	98	2.856,8	2,96	0,522	12,3	57,4
	ILP	100	3.574,3	3,45	0,639	10,8	50,6
	<i>Período das seca</i>						
	ILPF14	85	796,6	1,25	0,194	10,2	39,4
2	ILPF22	89	1.460,1	1,17	0,222	10,0	40,6
	ILP	90	2.510,5	1,35	0,334	7,25	35,7
	<i>Período das águas</i>						
	ILPF14	60	705,5	0,90	0,525	13,8	58,9
	ILPF22	61	1.443,2	1,30	0,568	13,8	57,6
	ILP	54	2.200,8	1,50	0,581	10,1	50,3
3	<i>Período das seca</i>						
	ILPF14	27	699,4	0,40	0,016	7,8	50,6
	ILPF22	31	1.104,9	1,80	0,058	6,7	50,2
	ILP	34	2.026,1	2,05	0,160	4,6	48,1
	<i>Período das águas</i>						
	ILPF14	41	1.078,2	1,90	0,648	13,1	56,9
	ILPF22	38	1.391,1	2,00	0,783	12,1	57,1
	ILP	40	2.377,5	4,50	0,588	10,4	50,3
	<i>Período das seca</i>						
	ILPF14	19	403,7	0,72	0,435	9,0	58,6
	ILPF22	21	1.319,4	1,60	0,238	9,8	59,2
	ILP	32	3.053,7	3,00	0,373	8,1	57,6

3.4 Discussão

Em sistemas ILPF a quantidade de luz disponível no sub-bosque é determinada pelo tipo, densidade e arranjo do componente arbóreo (Paciullo et al., 2011). Nos sistemas ILPF as árvores de eucalipto (Clone H13 - *Eucalyptus urograndis*) implantadas apresentaram crescimento rápido, assim como o desejado. Já no final do primeiro ciclo de produção, quatro anos após a implantação, as árvores apresentavam altura média de 20 m. Entretanto, devido ao direcionamento das árvores voltadas mais ao sentido norte, e os espaçamentos entre renques adotados, houve uma progressão rápida do sombreamento no sub-bosque, apresentando 45% de redução da incidência de luz no sub-bosque, nível de sombreamento considerado intenso.

Durante o segundo ciclo houve maior intensidade de sombreamento no sub-bosque dos sistemas com árvores. O sistema ILPF 14 encontrava-se em média no início do primeiro ano com 45% de sombreamento, ao final do ciclo apresentava média de 71%, com a sombra da copa das árvores ocupando todo sub-bosque, não permitindo a entrada de luz direta (Tabela 1). O sistema ILPF22 iniciou o ciclo com 45% de sombreamento, e no final apresentava 61%, permitindo luz direta no sub-bosque apenas no período de águas, mais especificamente nos meses de verão quando a inclinação solar é perpendicular ao solo. O direcionamento das árvores no sentido mais ao norte favoreceu esses níveis de sombreamento (tabela 1). A baixa disponibilidade de radiação no sub-bosque determina o potencial de produção de forragem dentro do sistema, uma vez que as plantas transformam energia solar em compostos orgânicos, via fotossíntese (De Andrade et al., 2014). Principalmente em se tratando de gramíneas tropicais, adaptadas a altos níveis de radiação (Taiz e Zeiger, 2004).

Peri (2002) avaliando sistema silvipastoril com sob espaçamento de 9x3, observou que a produtividade de *Dactylis glomerata* (Capim-dos-pomares), uma forrageira temperada perene considerada altamente tolerante ao sombreamento, obteve quedas na produção de forragem em comparação ao pleno sol nas condições de primavera da Nova Zelândia. O mesmo foi observado por Dias-Filho (2002), com *Urochloa brizantha*, uma forrageira tropical perene que, quando submetida ao sombreamento de 50% o sub-bosque de árvores nativas, apresentou quedas rápidas na fotossíntese foliar, apresentado produção de forragem reduzida em 35%. Segundo Fontanelli et al. (2011) quanto maior o espaçamento entre as linhas das árvores, maior será a penetração de radiação no substrato forrageiro, favorecendo o acúmulo de biomassa. Entretanto, o espaçamento entre as linhas das árvores não pode ser tão grande a ponto de comprometer a quantidade e a qualidade do produto florestal por área de terra e a cobertura arbórea desejada para a proteção dos animais e da pastagem.

As recomendações da literatura, indicam que o componente arbóreo deve passar por manejo de desbaste para não prejudicar a produtividade a forragem, sendo o momento ideal para realizar desbaste quando o sub-bosque apresenta cerca de 50% de sombreamento (Porfírio-da-Silva, 2009). Nos sistemas ILPF14 e ILPF22, esse momento ocorreu quando o sistema estava entre o quinto e sexto ano de implantação. Porém, seguindo o protocolo experimental previamente estabelecido, que visava a produtividade geral do sistema, o desbaste foi realizado com 8 anos, quando se iniciava o novo ciclo da lavoura, para aumentar a incidência de luz para soja, e para se obter produto madeireiro de maior valor agregado. Sendo assim, o segundo ciclo de rotação foi marcado por um sombreamento intenso, com as árvores propiciando no primeiro ano do ciclo 45 e 46 % de sombra, e 76 e 61% no último ano, para os sistemas ILPF14 e ILPF22, respectivamente.

Entre os sistemas arborizados, o sistema ILPF22 se mostrou mais promissor, apresentando diferenças no desempenho animal apenas nos últimos anos do segundo ciclo, quando apresentava sombreamento intenso. OS resultados obtidos sugerem que um desbaste no momento correto poderá determinar ganhos significativos de produtividade do sistema. Paciullo et al. (2007), em sistema silvipastoril, com linhas triplas, em espaçamento entre reques de 15 m, com árvores de eucalipto (*E. Grandis*), realizou desbaste aos seis anos, retirando 30% das árvores; os autores , constataram que o sub-bosque de braquiária, considerando-se todas as faixas com árvores, recebeu, em média, 35% da radiação incidente a pleno sol (65% de sombreamento), durante o primeiro ano, e 65% (35% de sombreamento), durante o segundo ano. O desbaste de 30% das árvores de eucalipto proporcionou aumento de luminosidade de 85% no sub-bosque, aumentando os ganhos de produtividade do sistemas em 50%, se igualando ao pleno sol Paciullo et al., 2007).

O incremento no teor de protéico da forragem sombreada é uma resposta já descrita na literatura. Estudos realizados por Barro et al. (2010) confirmou as elevadas performances de ganho de peso vivo animal devido ao conteúdo de proteína bruta (PB) e digestibilidade in vitro (DIVMO) da parte aérea dentro das espécies forrageiras, aliadas ao fato de que em alguns momento houve maior produção de forragem nos sistemas sombreados.

De acordo com Fotanelli et al. (2011) nos sistema ILPF, com pastejo contínuo, o momento inicial de pastejo deve ser aguardado até que haja um acúmulo de biomassa significativo, então, introduzir bovinos ou ovinos, usando carga animal mais leve do que aquelas recomendadas para as pastagens a pleno sol. A pesquisa científica ainda carece de dados de manejo de pastagem sob sombreamento, especialmente relacionadas à velocidade de rebrote e persistências das forrageiras. As forrageiras que crescem no sub-bosque de um SSP

estão expostas às condições restritivas de quantidade e qualidade de radiação e, portanto, o CO₂ fixado pela fotossíntese nas folhas é inferior quando comparado com as plantas que crescem em pleno sol (WILSON; LUDLOW, 1990). Isso determina que as plantas em um SSP necessariamente acumulem uma quantidade inferior de reservas (carboidratos e nitrogênio) durante o período de crescimento e, por isso, o manejo deve ser mais cuidadoso e, de certa forma, conservador. A tendência é de que o vigor de rebrote de pastagens submetidas ao sombreamento sejam menores do que aqueles observados em pleno sol. Além disso, normalmente as reservas de plantas sombreadas são translocadas e priorizadas para o crescimento da parte aérea (área foliar) em detrimento do sistema radicular (PERI, 2002; VARELLA, 2002; LUCAS, 2004; BARRO, 2007), exceto quando se impõem severas restrições hídricas e/ou minerais de solo. Considerando estes fundamentos, recomenda-se que o manejo de forrageiras em SSP (condição de forragem no pré e pós pastejo) deve ser realizado, observando atentamente a preservação das reservas nutricionais das plantas, evitando o esgotamento e não comprometendo sua persistência.

Assim, o fundamental é evitar condições de superpastejo em um SSP e de esgotamento de reservas, situação comumente observada em propriedades rurais, que podem facilmente comprometer o rebrote e a persistência de plantas que crescem sob condições restritivas de luminosidade.

3.5 Conclusões

O sistema ILP possibilita maior produtividade forrageira e consequentemente, maior produção animal, com animais pastejando durante o ano todo. Nos sistemas arborizados, o espaçamento de 22m permitiu maior produção animal que o sistema com espaçamento entre renques simples de árvores de 14m.

A partir do momento que o sombreamento fica intenso, acima de 50% os sistemas arborizados não permitem pastejo ao longo de todo ano, sendo que com o espaçamento de 14 m, o número de dias sem pastejo é maior. Plantas forrageiras geralmente apresentam quedas bruscas de produtividade com sombreamento maior de 50%. Buscar exemplos de espaçamentos que contemplem este limite de luminosidade durante a maior parte do empreendimento é a melhor opção para manter o sistema produtivo. O sistema ILPF14 mostrou-se inviável para produção pecuária ao longo do tempo, pois restringiu muito a produtividade do sistema. Já o sistema ILPF 22, mostrou-se interessante para pecuária, desde que seja realizado desbaste no momento certo. Outro fator importante a se considerar, para

priorizar espécies forrageiras tropicais, é a orientação do plantio das linhas das árvores, sendo o sentido leste-oeste preferencial nas latitudes do Sul do Brasil.

Referências

- Balbino, L.C., Cordeiro, L.A.M., Porfírio-Da-Silva, V., Moraes, A., Martínez, G.B., Alvarenga, R.C., Kichel, A.N., Fontaneli, R.S., Santos, H.P., Franchini, J.C., Galerani, P.R., 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.** 46, p.i-xii.
- Bosi, C., Pezzopane, J.R.M., Sentelhas, P.C., Santos, P.M., Nicodemo, M.L.F., 2014. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesq. Agropec. Bras.** 49, p.449-456.
- Bungenstab, D.J., Almeida, R.G., 2014. **Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems; a Brazilian experience for sustainable farming.** Brasília, DF: Embrapa. 304p.
- Carvalho, P.C.F., Ribeiro Filho, H.M.N., Poli, C.H.E.C., Moraes, A., Delagarde, R., 2001. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: PEDREIRA, C.G.S. e DA SILVA, S.C. (Ed.) **A Produção Animal na Visão dos Brasileiros**, Piracicaba: FEALQ. p.853-871
- Carvalho, P.C.F., Santos, D.T., Neves, F.P., 2007. Oferta de forragem como condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal. In: Dall'Agnol, M.; Nabinger, C.; Santana, D.M.; Santos, R.J. (Org.). **Sustentabilidade Produtiva do Bioma Pampa.** 1 ed. Porto Alegre: Gráfica Metrópole Ltda. p. 23-60.
- Euclides, V.P.B., 1995. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ. p.245-73.
- Evans, J.R., Poorter, H., 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell Environ.** 24, p.755-767.
- Flores, R.S., Euclides, V.P.B., Abrão, M.P.C., Galbeiro, S., Difante, G.S., Barbosa, R.A., 2008. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidade de pastejo. **R. Bras. Zootec.** 37, p.1355-1365.
- Garcez Neto, A.F., Garcia, R., Moot, D.J., Gobbi, K.F., 2010. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 39, p.42-50.
- Guenni, O., Seiter, S., Figueroa, R., 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Trop. Grassland.** 42, p.75-87.
- Hodgson, J., 1990. **Grazing management: science into practice.** Ed. Longman Scientific & Technical. 203p.
- Larcher, W., 2000. As influências do ambiente sobre o crescimento e sobre o desenvolvimento. In: LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** RiMa Artes e Textos, p.295-338.
- Macedo, R.L.G., Vale, A.B., Venturin, N., 2010. **Eucalipto em sistemas agroflorestais.** Lavras: UFLA. 331p.

- Marten, G.C., Shenk, J.S., Barton Li, F.E., 1985. **Near-infra red reflectance spectroscopy (NIRS): analysis of forage quality**. Washington: USDA. 110p. (USDA. Agriculture handbook, 643).
- Martuscello, J.A., Jank, L., Neto Gontijo, M.M., Laura, V.A., Cunha, D.N.F.V., 2009. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 38, p.1183-1190.
- Mott, G.O., Lucas H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College, p.1380-1385.
- Nantes, N.N., Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Lempp, B., Barbosa, R.A., Gois, P.O., 2013. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesq. Agropec. Bras.** 48, p.114-121.
- Oliveira, C.C., Vilela, S.D.J., Almeida, R.G., Alves, F.V., Behling Neto, A., Martins, P.G.M.A., 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Trop. Anim. Health Prod.** 46, p.167-172.
- Paciullo, D.S.C., Campos, N.R., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Tavela, R.C., Rossiello, R.O.P., 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesq. Agropec. Bras.** 43, p.917-923.
- Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., 2007. Fotossíntese foliar do capim-xaraés [*Brachiariabrizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **R. Bras. Zootec.** 36, p.773-779.
- Paciullo, D.S.C., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Fernandes, P.B., Müller, M.D., Pires, M.F.A., Fernandes, E.N., Xavier, D.F., 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesq. Agropec. Bras.** 46, p.1176-1183.
- Paciullo, D.S.C., Lopes, F.C.F., Malaquias Junior, J.D., Viana Filho, A., Rodriguez, N.M., Morenz, M.J.F., Aroeira, L.J.M., 2009. Característica do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesq. Agropec. Bras.** 44, p.1528-1535.
- Pinto, J.C., Gomide, J.A., Maestri, M., (1994). Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **R. Bras. Zootec.** v.23, n.3, p.313-326.
- Silva, S.C., 2009. Conceitos básicos sobre sistemas de produção animal em pasto. In: INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTO, 25, 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, p. 7-36.
- Silva, S.C., Nascimento Júnior, D., 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **R. Bras. Zootec.** 36, p.121-138.
- Soares, A.B., Sartor, L.R., Adami, P.F., Varella, A.C., Fonseca, L., Mezzalira, J.C., 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **R. Bras. Zootec.** 38, p.443-451.

Stuth, J.W., Kirby, D.R., Chmielewski, R.E. 1981. Effect of herbage allowance on the efficiency of defoliation by the grazing animal. Grass and Forage Science. 36, p.9-15.

Taiz, L., Zeiger, E., 2013.**Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, p.199-242.

4 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DE *Brachiaria brizantha* CV. PIATÃ EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

Resumo

Em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o sombreamento das árvores promove mudanças microclimáticas, que influenciam características morfofisiológicas e estruturais nas plantas forrageiras. Essas adaptações podem alterar o acúmulo e disponibilidade da forragem no pasto. Visando entender essas modificações e obter uma melhor produção de forragem em ambientes sombreados, o objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito do sombreamento e microclima, gerado por diferentes densidades de árvores, sobre as respostas morfofisiológicas e estruturais de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã e suas implicações para a produção de forragem em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, nas estações do ano. A *Brachiaria brizantha* cv. Piatã foi avaliada em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com espaçamento entre linhas simples de árvores de eucalipto de 14 m (ILPF14) e de 22 m (ILPF22), comparados a um sistema de integração lavoura-pecuária (ILP, a pleno sol). Os sistemas foram implantados na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, em novembro de 2008, seguindo estratégia de rotação de quatro anos, sendo um ano de lavoura e três anos de pastagens. As avaliações foram realizadas no período de julho de 2015 a junho de 2016. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema de faixas, com três repetições. As variáveis microclimáticas foram avaliadas mensalmente concomitantemente às avaliações da planta forrageira. Foram avaliadas as características de fotossíntese foliar, o índice de área foliar (IAF), a área foliar específica (AFE), e o acúmulo de forragem. O espaçamento de 14m não é recomendado para implantação de sistemas arborizados na região do cerrado brasileiro. O espaçamento de 22m é recomendado para sistemas arborizados no cerrado brasileiro, porém deve ser feito desbaste entre 5 ou 6 anos, quando atingir 50% de sombreamento.

Palavras-chave: fotossíntese foliar, sistemas de integração, sombreamento.

Abstract

In crop-livestock-forest integration systems (ILPF), the shading of trees modifies the microclimatic, influence interfering in morphophysiological process essential for biomass accumulations in forage species. In order to understand the processes of modifications and to obtain a better production of forage in shaded environments, the objective with this was to evaluate the effect of shading and microclimate, generated by different tree densities, on the morphophysiological and structural responses of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, and its implications on forage production in crop-livestock-forest integration systems, along the seasons. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã was evaluated in two crop-livestock-forest integration systems, with single lines of eucalyptus trees spacing by 14 m (ILPF14) and 22 m (ILPF22) (ILPF22), compared to a crop-livestock integration system (ILP; sun), with a crop rotation strategy of 4 years, with 1 year of crop cultivation and 3 years of pasture. A randomized complete blocks design, arranged in a split strips scheme, with 4 replicates was adopted. Evaluations of the morphophysiological and structural responses of the piatã palisadegrass to shading were carried out in the about line tree, according to the distance of the trees, and seasons of the year in the last year of the second cycle, from July 2015 to June 2016, with adult trees and intense shading. Microclimatic variables were evaluated monthly, at the same time as forage plants leaf area index (LAI), specific leaf area (AFE), leaf angles (extinction

coefficient), photosynthetic rate and forage accumulation. The 14m spacing is not recommended for the implantation of tree systems in the Brazilian Cerrado region. The spacing of 22m is recommended for tree systems in the Brazilian cerrado, but should be thinned between 5 or 6 years, when it reaches 50% shading.

Keywords: leaf photosynthesis, integration systems, shading.

4.1 Introdução

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) são estratégias de produção sustentáveis que integram, na mesma área, atividades agrícolas, pecuárias e florestais, para produção de grãos, carne ou leite, produtos madeireiros e não madeireiros, ao longo do ano (Balbino et al., 2011).

Esses sistemas trazem uma série de benefícios ao local de implantação, especialmente ao recuperar a capacidade produtiva de pastagens e solos degradados, e intensificar o uso da área. Por outro lado, a adição de árvores ao sistema produtivo pode diminuir o rendimento individual dos cultivos agrícolas e pastagens, em razão da competição por luz, nutrientes e água (Macedo et al., 2010), com implicações sobre produtividade animal do sistema.

As gramíneas tropicais, geralmente utilizadas na formação das pastagens brasileiras, são de metabolismo C₄, e necessitam de alta luminosidade para alcançar seus níveis máximos de produtividade (Taiz e Zeiger, 2013). Em sua maioria, estas gramíneas tropicais não são adaptadas ao sombreamento e, em sistemas arborizados, apresentam produção menor ou semelhante que em ambientes a pleno sol (Martuscello et al., 2009; Andrade et al., 2004). Por isso, na literatura registra-se redução na produção de forragem conforme o aumento do sombreamento (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007; Gobbi et al., 2009; Martuscello et al., 2009; Soares et al., 2009). A resposta ao sombreamento depende das espécies forrageiras utilizadas, do nível do sombreamento imposto pela copa das árvores, das condições hídricas e da fertilidade do solo, sobretudo a disponibilidade de nitrogênio (Guenni et al., 2008; Soares et al., 2009; Paciullo et al., 2011).

Em ambientes onde a estiagem é prolongada, o microclima gerado pelo componente arbóreo pode favorecer a produção de forragem. No entanto, quando o objetivo do sistema é a produção animal, o dimensionamento e arranjo das fileiras de árvores, orientação de plantio, assim como, a espécie florestal utilizada, devem ser considerados, a fim de permitir níveis moderados de sombreamento no sub-bosque, para que os impactos do sombreamento sobre a produção de forragem sejam menores.

Dentre as forrageiras tropicais, a cultivar Piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) tem sido uma das escolhidas em sistemas integrados, o que se deve em razão de ser uma cultivar lançada no mercado em 2007, como uma alternativa para diversificação de pastagens, apresentando boa produtividade em solos do Cerrado, com exigência média de fertilidade do solo. Para uso em sistemas de integração lavoura-pecuária, tem apresentado vantagens como o estabelecimento um pouco mais lento em relação às outras braquiárias, a maior facilidade de dessecação e resistência às cigarrinhas-das-pastagens quando comparada à *B. brizantha* cv. Marandu e a *B. ruziziensis*.

Em sistemas ILPF cujo arranjo espacial envolve a disposição das árvores em linhas ou renques com mais de uma linha, é possível supor que haja influência das árvores sobre o pasto, à medida que este se distancia dos troncos. Embora a influência do componente arbóreo nas características do pasto se concentre principalmente sob as copas das árvores, os efeitos do sombreamento podem alcançar regiões localizadas além da projeção das copas (Dias et al., 2007). O conhecimento desse efeito é importante no planejamento de sistemas ILPF, no que se refere ao espaçamento entre faixas de árvores, a fim de se obter o máximo benefício da inclusão de espécies arbóreas em pastagens de gramíneas.

O objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito do sombreamento e microclima, gerado por diferentes densidades de árvores, sobre as respostas morfofisiológicas e estruturais de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, e suas implicações na produção de forragem em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, nas estações do ano.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Caracterização da área experimental

O presente trabalho faz parte do projeto CCN (Carne Carbono Neutro), desenvolvido pela Embrapa. O experimento foi conduzido na unidade de referencia tecnológica (URT) da Embrapa Gado de Corte, localizada em Campo Grande, MS, Brasil (latitude 20°27' Sul, longitude 54°37' Oeste e Altitude de 530 m). O padrão climático da região, segundo a classificação de Köppen, pertence à faixa de transição entre Cfa e Aw tropical úmido, com precipitação média anual de 1.560 mm, e períodos definidos de chuva, nos meses mais quentes, de setembro a abril; e de seca, nos meses frios do ano, de maio a agosto. Os dados de temperatura e precipitação durante o período experimental foram registrados pela estação meteorológica da Embrapa Gado de Corte, e são apresentados juntos com os dados

climatológicos histórico, dos últimos 30 anos, obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Metrologia (INMET), localizada junto a Embrapa Gado de Corte (Figura 1).

O solo da área experimental apresenta relevo plano, e é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa. A análise química de amostras de solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, revelou que a área era relativamente uniforme, com teores de argila de $41 \pm 5\%$, com os seguintes valores: $\text{pH} (\text{CaCl}_2) = 5,04$; $\text{MO} = 45,7 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{P}_{(\text{Mehlich})} = 6,1 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{K}_{(\text{Mehlich})} = 61 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 2,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 1,13 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Al} = 4,33 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{S} = 3,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{V} = 43\%$.

Figura 1 – Índice pluviométrico (mm) e temperaturas máximas e mínimas nas estações do ano, no período de junho de 2015 a maio de 2016 (Precipitação, Tmín e Tmáx, respectivamente) e média histórica climatológica (Precipitação H, Tmín.H e Tmáx.H) dos últimos 30 anos, para região de Campo Grande, MS, Brasil.

A área experimental foi estabelecida na safra de 2008/2009. Inicialmente foi realizado o plantio convencional da lavoura para recuperação da área que se encontrava degradada, deixando-se ruas de 2,0 m de largura em espaçamentos pré-determinados, para transplante de mudas de clone de *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*) em linhas simples orientadas $-20,41^\circ$ sul e $-54,71^\circ$ oeste em relação ao eixo leste-oeste, que ocorreu em janeiro de 2009. Foram estabelecidos três sistemas integrados: ILP – integração lavoura-pecuária (tratamento controle – a pleno sol); ILPF14 – integração lavoura-pecuária-floresta com

arranjo de 14x2 m, totalizando 357 árvores de eucalipto.ha⁻¹ e ILPF22 – integração lavoura-pecuária-floresta com arranjo de 22x2 m, totalizando 227 árvores de eucalipto.ha⁻¹ (conforme relatado no item 3.2.2).

Os sistemas foram planejados seguindo a estratégia de rotação de culturas de quatro anos, com plantio direto, sendo um ano de lavoura, com soja (cv. BRS 245 RR) na safra, e estabelecimento de capim (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) em consócio com sorgo forrageiro (cv. BRS 310) na entressafra, permanecendo pastagem por três anos.

4.2.2 Arranjo experimental

O período experimental foi de junho de 2015 a maio de 2016. A área total utilizada foi de 14,6 ha, sendo 2 ha destinados a área reserva para manutenção e ajustes da taxa de lotação dos animais, e 12,6 ha divididos em 3 blocos. Cada sistema foi dividido em 3 parcelas experimentais (piquetes/repetições). Os sistemas ILP e ILPF22 constaram de 4,5 ha cada, com piquetes de 1,5 ha cada; e o sistema ILPF1 constou de 3,6 ha, com piquetes de 1,2 ha cada. Cada bloco foi composto por três piquetes, um de cada sistema integrado (ILP, ILPF1 e ILPF2), totalizando 9 piquetes (Figura 2).

O experimento foi realizado no último ano de pastagem do segundo ciclo de rotação. No início do experimento, em julho de 2015, as árvores apresentavam altura média de 27 m e 25 m, no sistema ILPF14 e ILPF22, respectivamente.

Figura 2 – Representação esquemática do croqui da área experimental, apresentando os blocos (B...) e piquetes (P...) dos sistemas (ILP: integração lavoura pecuária; ILPF14: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 14x2 m; ILPF22: integração lavoura-pecuária-floresta, arranjo de 22x2 m).

Nos sistemas ILPF as avaliações foram realizadas em cinco pontos equidistantes (A, B, C, D, E), demarcados de acordo com a distância das árvores, ao longo de um transecto, entre as linhas de eucalipto. Os pontos A e E foram alocados a 1 m dos troncos das árvores, o ponto C correspondia ao meio entre os renques, e os pontos B e D, intermediários entre os pontos A e B e o ponto C. No sistema ILP os pontos foram demarcados aleatoriamente, descontando-se a bordadura de 5m das cercas (Figura 3). Os pontos amostrais foram escolhidos mensalmente de forma representativa, de acordo com a característica visual do dossel forrageiro e o ambiente luminoso.

Figura 3 – Representação esquemática da alocação das unidades amostrais: (A) nos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta ao longo do transecto (ILPF14, arranjo de 14x2 m e ILPF22, arranjo de 22x2 m, com 227 árvores.ha⁻¹) e (B) no ILP: integração lavoura pecuária aleatoriamente.

O manejo dos pastos foi realizado sob lotação contínua, com taxa de lotação variável (Mott e Lucas, 1952), preconizando a altura do dossel forrageiro na média de 30 cm (Euclides et al., 2014). A partir do segundo ciclo de rotação (2013), o pasto recebeu anualmente, no mês de janeiro, adubação de manutenção de 50 kg.ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia e 300 kg.ha⁻¹ N-P-K da fórmula (0-20-20).

O pastejo foi realizado por novilhas da raça Nelore, com peso médio inicial de 290 kg. A taxa de lotação (TL), foi ajustada mensalmente, após pesagem dos animais, visando manter o pasto a 30 cm de altura. A altura do pasto foi mensurada, utilizando uma régua graduada (cm), a cada 15 dias em 50 pontos, andando em zig-zag pelo piquete, considerando a altura média do relvado do local (remendações Montagner, 2015, dados não publicados). Seguindo essa metodologia houve a necessidade de retirar os animais dos sistemas arborizados durante alguns meses do período experimental, pois o pasto apresentava-se abaixo dos 30 cm, com baixa disponibilidade de forragem. No total, o período experimental foi de 340 dias. No sistema iLPF14 não houve pastejo nos meses de inverno e no início da primavera (julho a outubro), apresentando 203 dias de pastejo. No sistema iLPF22 os animais foram retirados no início da primavera (setembro e outubro), apresentando 258 dias de pastejo. O sistema ILP foi pastejado durante todo período.

4.2.3 Avaliações e coletas de dados

As avaliações microclimáticas e do capim-piatã foram realizadas mensalmente, e os dados agrupados nas estações: inverno (julho a setembro de 2015), primavera (outubro a dezembro de 2015), verão (janeiro a março de 2016) e outono (abril a junho de 2016). As amostragens foram realizadas considerando como causa de variação o ambiente microclimático dos pontos em relação a distância da árvore, comparados ao pleno sol.

Avaliações Microclimáticas

As avaliações microclimáticas foram realizadas concomitantemente com as avaliações fisiológicas nas plantas de capim-piatã. As leituras das condições microclimáticas dos sistemas foram realizadas nos pontos amostrais em três dias consecutivos (um bloco por dia).

A incidência da radiação fotossinteticamente ativa foi medida utilizando ceptômetro portátil (Decagon), às 9h00, 12h00 e 17h00 (horário local, GMT -04h00). As leituras foram feitas acima do dossel forrageiro no sistema a pleno sol e nos sistemas arborizados.

A temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) foram mensuradas utilizando termohigrômetros digitais com *datalogger* (marca Instrutherm, modelo HT-500) das 8h00 às 17h00 (horário local, GMT -04h00), programados para leituras a cada 30 segundos e valor médio registrado a intervalos de uma hora (adaptado Silva et al., 1998). Os termohigrômetros foram inserido em canos de PVC perfurados, de acordo com a metodologia proposta por Trumbo et al. (2012), e alocados nas gaiolas de exclusão, a 50 cm de altura do nível solo, nos pontos amostrais de cada sistema.

A temperatura do solo foi mensurada às 9h00, 12h00 e 17h00 (horário local, GMT -04h00), com termômetro de leitura digital, via sondas, modelo Soloterm MOD.1200. O termômetro foi inserido no solo próximo a touceira escolhida para as avaliações de troca gasosas. A umidade do solo foi avaliada mensalmente, por meio do método gravimétrico. O solo foi coletado com sonda nos pontos amostrais, nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, preferencialmente um dia antes das avaliações fisiológicas. As amostras foram alocadas em potes de alumínio, armazenadas em caixas térmicas. Após a retirada das amostras no campo, as amostras foram pesadas em laboratório e levadas à estufa a 105 °C, por 24 horas para obtenção da massa seca. A umidade do solo foi determinada pelo cálculo:

$$\%US = [(massa \text{ úmida} - massa \text{ seca}) / massa \text{ seca}] * 100$$

Características estruturais do dossel forrageiro

As avaliações estruturais do capim-piatã foram: massa de forragem (MF), altura do dossel, composição morfológica, coeficiente de extinção (k), ângulo de inclinação foliar (AIF), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), e acúmulo de forragem.

A massa de forragem foi estimada a cada 28 dias, pelo método direto, cortando-se 10 amostras de 1m^2 por piquete ao nível do solo. Nos sistemas ILPF foram coletadas 2 amostras por ponto (A, B, C, D e E). A forragem coletada foi pesada logo após o corte no campo, e uma amostra composta foi retirada para separação das frações: folha (lâmina foliar), colmo (bainha+colmo) e material morto. Após a separação das frações da sub-amostra, cerca de 100g das lâminas foliarias, foram utilizadas para mensuração da área foliar, utilizado o integrador de área foliar (LiCor, modelo LI-3100),

Todo material separado foi levado à estufa de ventilação forçada a 65°C até atingir peso constante sendo pesado novamente para determinação do teor de matéria seca da forragem. Após a secagem das folhas, a área foliar específica (AFE) foi determinada pela razão entre a área de lâminas foliares e sua massa seca ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$). Posteriormente, os valores de área foliar foram extrapolados para o total de folhas contidas no quadro amostral de 1m^2 . O índice de área foliar (IAF) foi calculado pela razão da área de lâminas foliares e a área de coleta.

O coeficiente de extinção (k) foi estimado levando-se em consideração a orientação das folhas nos mesmos pontos onde foram realizadas as leituras de fotossíntese. Foram realizadas 80 medições diretas em cada ponto amostral, com transferidor graduado, dos ângulos de inserção das folhas dentro do dossel, perpendicularmente ao solo. As leituras foram distribuídas em um histograma para determinação do valor do ângulo médio de inclinação foliar (AMI), representado pela moda dos dados coletados. Com base na equação de AMI, proposta por Campbell (1990), pode-se derivar numericamente uma equação para o cálculo o valor de x , e determinar o coeficiente de extinção (k).

O acúmulo de forragem foi estimado utilizando a técnica de gaiolas de exclusão, sendo alocadas 5 gaiolas de $1\text{m} \times 1\text{m}$ por piquete. As coletas foram realizadas mensalmente, no mesmo dia da amostragem de forragem. As gaiolas foram posicionadas em cinco pontos com altura média do dossel, massa e composição morfológica semelhantes aos coletados em um dos transectos da avaliação da forragem, que foram tidos como pontos de referência. As massas de matéria seca, dentro e fora da gaiola, foram obtidas por corte rente ao solo, depois de cada corte, as gaiolas foram realocadas seguindo a mesma metodologia.

A taxa de acúmulo de forragem (TAF, kg MS.ha⁻¹.dia⁻¹) foi obtida pela diferença entre as massas de forragem observadas dentro (corte atual) e fora da gaiola (corte anterior), dividida pelos dias entre uma amostragem e outra.

Avaliação das Respostas Fisiológicas

Os seguintes índices fisiológicos foram avaliados utilizando-se um analisador portátil de fotossíntese por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo Li-6400XT, LI-COR): taxa fotossintética líquida (AN), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E) e déficit de pressão e vapor (DPV). As avaliações foram realizadas mensalmente em três dias consecutivos (1 bloco por dia). As medições foram feitas em três momentos, às 9h00, 12h00 e 17h00 (horário local, GMT -04h00), sendo a folha marcada/numerada com a caneta hidrográfica, para que a mesma folha fosse mensurada ao longo do dia.

Foram medidas as trocas gasosas de 5 folhas individuais, na porção mediana da lâmina até que o aparelho apresentasse coeficiente de variação (CV) menor que 1. As folhas medidas encontravam-se nas touceras de dentro das gaiolas de exclusão, em perfilhos vegetativos, para garantir que as folhas estivessem intactas (seguindo um critério de avaliação visual de modo a selecionar as melhores folhas presentes dentre as mais jovens completamente expandidas, com mínimo de limbo, verdes e limpas).

A intensidade de luz na câmara foliar foi primeiramente obtida com ceptometro portátil (Decagon) a pleno sol no início de cada horário de avaliação e fixado para todos pontos amostrais, sendo utilizada concentração de CO₂ do ambiente, que se manteve em torno de 350 µmol mol⁻¹.

4.2.4 Análises de dados

Os dados foram agrupados por estação do ano da seguinte maneira: inverno, resultados obtidos entre junho e agosto de 2015, primavera de setembro a novembro de 2015, verão de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016 e outono, de março a maio de 2016.

Para as análises estatísticas os pontos de avaliação foram considerados tratamentos individuais, e comparados ao tratamento pleno sol, e entre si. Foi utilizado o procedimento PROC GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 2009), com o esquema de faixas, sendo cada sistema e ponto uma faixa. Os efeitos fixos significativos foram comparados pelo teste de Tukey para comparação de médias, por meio da opção LSMEANS do procedimento GLM.

4.3 Resultados

4.3.1 Características Microclimáticas dos sistemas ILPF

Radiação

A radiação solar incidente foi significativamente alterada pelos arranjos e orientação das árvores utilizadas em todos os pontos e estações avaliados, promovendo sombreamento intenso, de 78 e 67 %, em média no ano, nos sistemas ILPF14 e ILPF 22, respectivamente.

Na estação da primavera os pontos avaliados nos sistemas ILPF14 e ILPF 22 não apresentaram diferença ($P>0,05$) entre si. Porém, esta foi a estação que apresentou maior redução da incidência solar, apresentando sombreamento de 88 e 72% nos sistemas ILPF14 e ILPF 22, respectivamente. No verão, os pontos avaliados no sistema ILPF14 não apresentaram diferença entre si, mas apresentaram menor radiação que o sistema ILPF 22. No ILPF22, os pontos centrais (B, C e D) receberam maior incidência de luz durante o verão. Nas estações de inverno e outono não houve diferença entre os sistemas ILPF 14 e ILPF 22, e os pontos mais próximos às árvores receberam maior incidência de luz, principalmente o ponto E mais ao norte, reflexo do direcionamento do plantio das árvores (Norte-Sul) e da inclinação solar, que se torna menos perpendicular devido aos movimentos de translação da terra (Figura 5).

De maneira geral os pontos avaliados no sistema ILPF14 não apresentaram diferença nas estações do ano, devido à altura e projeção da sombra da copa da árvore que alcançava todo estrato inferior do seu sub-bosque. O sistema ILPF22 apresentou maior variação, demonstrando que o espaçamento entre os renques de árvores determina a intensidade de sombreamento no sub-bosque do sistema.

Figura 5 – Radiação solar média incidente, em cada ponto avaliado, por estação do ano, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos: a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS

Temperatura do ar

As temperaturas médias diárias dos sistemas arborizados não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$) entre os pontos avaliados, e nas estações, quando comparados ao sistema a pleno sol (Figura 6 e 7). Tal semelhança se deu pela maior amplitude de temperaturas diárias registradas nos sistemas ILPF. Entretanto, nas estações de inverno e primavera, houve tendência de maiores valores de temperatura, principalmente os sistemas ILPF 14, sendo que os sistemas arborizados apresentaram temperaturas com 2 e 5°C a que mais sistema a pleno sol.

Figura 6 – Temperatura média (°C), nas estações, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E), comparados ao ponto a pleno sol, em sistemas ILP, no período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS

Figura 7 – Temperatura média (°C), nas estações, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol em sistemas ILP, período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS.

Na estação de inverno, os sistemas arborizados apresentaram temperaturas superiores àquela do sistema a pleno sol as 12 e 15 horas. Esse comportamento foi capaz de amenizar a temperatura do ar ao longo do dia, permitindo que a temperatura ficasse próxima ao considerado como temperatura ótima (30°C) para o crescimento e fotossíntese de gramíneas forrageiras de metabolismo C4, como pode ser observado na figura 8. Já na estação na primavera houve efeito contrário, como esta estação é a mais quente e seca da região de cerrado, os sistemas ILPF promoveram um resfriamento nos pontos ao longo do dia.

Tal fato se deve ao nível de sombreamento que foi elevado, combinado a ventos com maior velocidade, que são bastante ocorrentes nessa época. Apesar da velocidade do vento não ter sido mensuradas, os sistemas arborizados são conhecidos por suas características de quebra-ventos. Nos sistemas ILPF, foi perceptível por meio de observação visual que as rajadas de vento eram mais fortes, possivelmente devido ao direcionamento do plantio das árvores, que canalizou o vento, favorecendo a formação de um corredor de vento. Tal fato pode ter interferido nos processos fotossintéticos e na inclinação do ângulo foliar das plantas forrageiras.

Inverno *Primavera*

Figura 8 – Temperatura do ar (°C), às 9, 12 e 15 horas, em cada ponto avaliado, nas estações de inverno e primavera, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS

Umidade do ar

Para umidade relativa do ar não houve diferença significativa dos arranjos, nas estações de inverno, verão, outono e na maioria dos pontos avaliados na primavera (Figura 11 e 12). A umidade relativa do ar média (%) apresentou diferença significativa ($p>0,05$) apenas no ponto A do sistema ILPF14, que se encontra sob a copa a 1m de distancia ao sul. Esse ponto durante essa estação recebe maior intensidade de luz ao longo do dia, devido à inclinação do sol. Além disso, na região de cerrado nessa época tem-se o efeito mais proeminente da seca. De forma que no sistema mais adensado, ILPF 14 tem-se maior competição por água e nutrientes no solo entre os componentes vegetais (árvores e plantas forrageiras). Pode-se evidenciar, que apesar dos outros pontos (B, C, D, e E) ao longo do transecto não terem apresentado diferença significativa, houve uma tendência menor valor de UR. Os pontos apresentaram média de 57 % UR, enquanto que a pleno sol e no sistema ILPF22, apresentaram cerca de 87 e 80 % de UR, respectivamente

Cabe também ressaltar, que na estação de inverno, mesmo não havendo diferença significativa entre os sistemas, o sistema ILPF14 apresentou uma tendência de maior UR, na média dos pontos o sistema apresentou 61%, enquanto que os sistemas ILPF22 e ILP apresentaram 48 e 51%, respectivamente.

Figura 9 – Umidade relativa do ar (%), nas estações, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E), comparados ao ponto a pleno sol, em sistemas ILP, no período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS.

Figura 10 – Umidade relativa do ar (%), nas estações, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol em sistemas ILP, período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS.

Umidade do solo

A umidade do solo apresentou-se superior ($p>0,05$) no sistema a pleno sol, em todas as estações avaliadas. Com exceção da primavera, onde sistema ILPF22 apresentou umidade do solo semelhante a pleno sol, principalmente nos pontos sob a copa das árvores (A e E), havendo uma tendência de redução nos pontos centrais. No sistema ILPF14 os pontos sob a copa das árvores (A e E) também não apresentaram diferença significativa, mas redução de cerca de 7% nos pontos centrais, em média. Tal fato pode estar correlacionado com a deposição de serrapilheira sob a copa das árvores que é bastante intensa nesse período, após a seca.

Entre os sistemas ILPF, não houve diferença significativa entre os pontos nas estações de inverno e outono. Porém na estação verão o sistema ILPF14 apresentou menor umidade do solo.

Figura 11 – Umidade do solo (%), nas estações do ano, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E), comparados ao ponto a pleno sol, em sistemas ILP, no período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS.

Figura 12 – Umidade do solo (%), nas estações do ano, em cada ponto avaliado, em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta,, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol em sistemas ILP, período de julho de 2015 a junho 2016, em Campo Grande, MS.

4.3.2 Características Agronômicas e fisiológicas da planta forrageira

Inverno

Os efeitos das condições microclimáticas sobre as características produtivas e fisiológicas de cada ponto avaliado no inverno estão apresentados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Taxa de fotossíntese foliar, condutância estomática e transpiração foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, na estação de inverno.

Sistemas		Taxa Fotossíntese	Condutância	Transpiração
ILP	PS	26,6 A	0,110 A	0,0029 A
ILPF14	A	19,9 E	0,041 J	0,0012 FG
	B	19,8 E	0,037 K	0,0011 G
	C	20,7 D	0,048 G	0,0014 DE
	D	21,5 CD	0,051 F	0,0015 D
	E	21,2 D	0,046 H	0,0013 EF
ILPF22	A	21,4 D	0,073 C	0,0020 BC
	B	23,6 B	0,084 B	0,0021 B
	C	21,5 CD	0,058 E	0,0019 C
	D	22,5 C	0,063 D	0,0019 C
	E	18,26 F	0,043 I	0,0014 DE

A taxa de fotossíntese foliar, a condutância estomática e transpiração foliar foram afetadas pelas condições de sombreamento dos sistemas ILPF em todos os pontos avaliados. O ponto a pleno sol apresentou-se superior em todas essas variáveis fisiológicas avaliadas. No sistema ILPF22, a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração foram mais elevadas no ponto B (6 m de distância do renque de árvores ao sul do transecto). No sistema ILPF14, houve pequeno aumento na taxa fotossintética nos pontos C, D e E (entre 7 e 13 m de distância do renque de árvores ao sul do transecto). A condutância estomática e a transpiração

no ILPF14 foram mais elevadas nos pontos C e D (entre 7 e 10 m de distância do renque de árvores ao sul do transecto).

No inverno, o acúmulo de massa de forragem total e o índice de área foliar foram maiores em pleno sol, porém não houve diferença entre os sistemas ILPF14 e ILPF22 e nem entre as distâncias dos renques de árvores. Não houve diferença entre os sistemas integrados e as distâncias avaliadas para acúmulo de forragem verde e área foliar específica (Tabela 5).

Tabela 5. Acúmulo de massa de forragem total, acúmulo de massa de forragem verde, índice de área foliar e área foliar específica de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas integrados: ILP, ILPF14 e ILPF22. Os pontos A, B, C, D e E correspondem a 1, 4, 7, 10, 13 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF14 e a 1, 6, 11, 16 e 21 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF22. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

		TAF	TAL	IAF	AFE
ILP	SOL	1321,7 a	538,1 a	2,62 a	218,9 a
	A	460,7 b	278,1 a	0,29 b	64,2 a
	B	428,6 b	271,9 a	0,47 b	72,4 a
ILPF14	C	604,0 b	355,5 a	1,03 b	143,3 a
	D	632,9 b	325,5 a	0,57 b	140,0 a
	E	513,1 b	315,7 a	0,85 b	131,6 a
ILPF22	A	450,3 b	166,4 a	0,80 b	243,9 a
	B	651,5 b	232,7 a	1,10 b	245,3 a
	C	606,8 b	185,4 a	1,02 b	355,0 a
	D	560,7 b	155,6 a	0,65 b	233,5 a
	E	430,1 b	142,4 a	0,60 b	247,7 a

Primavera

Os efeitos das condições microclimáticas sobre as características produtivas e fisiológicas de cada ponto avaliado na primavera estão apresentados nas tabelas 6 e 7. A taxa de fotossíntese foliar, a condutância estomática e transpiração foliar foram afetadas pelas condições de sombreamento dos sistemas ILPF em todos os pontos avaliados. O ponto a pleno sol apresentou-se superior em todas essas variáveis fisiológicas avaliadas. Nos sistemas ILPF 14 e ILPF22 a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração reduzem do renque sul para o renque norte.

Tabela 6. Taxa de fotossíntese foliar, condutância estomática e transpiração foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, na estação de primavera.

Sistemas		Taxa Fotossíntese	Condutância	Transpiração
ILP	PS	24,4 A	0,088 A	0,0024 A
	A	21,2 BC	0,037 K	0,0011 E
ILPF14	B	21,39 BC	0,045 I	0,0013 D
	C	21,54 BC	0,047	0,0013 D
	D	20,92 BC	0,048F	0,0013 D
	E	20,78 C	0,048 F	0,0014 D
	A	22,3 B	0,074 C	0,0021 B
ILPF22	B	22,3 B	0,079 B	0,0024 A
	C	21,7 B	0,063 D 0	0,0021 B
	D	21,4 BC	0,060 E	0,0019 C
	E	20,6 C	0,044 J	0,0014 D

Na primavera, o acúmulo de massa de forragem total foi maior em pleno sol, porém não houve diferença entre os sistemas ILPF14 e ILPF22 e nem entre as distâncias dos renques de árvores. Não houve diferença entre os sistemas integrados e as distâncias avaliadas para acúmulo de forragem verde, índice de área foliar e área foliar específica.

Tabela 7. Acúmulo de massa de forragem total, acúmulo de massa de forragem verde, índice de área foliar e área foliar específica de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas integrados: ILP, ILPF14 e ILPF22. Os pontos A, B, C, D e E correspondem a 1, 4, 7, 10, 13 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF14 e a 1, 6, 11, 16 e 21 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF22. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

		TAF	TAL	IAF	AFE
ILP	SOL	1159,4 a	601,3 a	1,41 a	140,1 a
ILPF14	A	839,1 b	706,3 a	1,96 a	135,2 a
	B	1107,3 b	1032,9 a	2,15 a	119,3 a
	C	1120,1 b	1021,7 a	2,67 a	135,4 a
	D	1191,5 b	1117,3 a	2,24 a	127,6 a
	E	643,0 b	516,0 a	1,52 a	136,2 a
ILPF22	A	887,0 b	685,9 a	2,28 a	127,3 a
	B	1555,8 b	1190,7 a	3,35 a	119,4 a
	C	1383,1 b	1041,1 a	2,78 a	125,8 a
	D	1148,8 b	867,3 a	2,96 a	147,7 a
	E	1237,9 b	658,5 a	1,84 a	129,9 a

Verão

Os efeitos das condições microclimáticas sobre as características produtivas e fisiológicas de cada ponto avaliado na primavera estão apresentados nas tabelas 8 e 9. A taxa de fotossíntese foliar, a condutância estomática e transpiração foliar foram afetadas pelas condições de sombreamento dos sistemas ILPF em todos os pontos avaliados. O ponto a pleno sol apresentou-se superior em todas essas variáveis fisiológicas avaliadas.

Na estação de verão os sistemas ILPF 14 e ILPF22, apresentaram maiores taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração nos pontos centrais, devido a maior incidência de luz nesses pontos. Sendo que o sistema ILPF22 apresentou-se superior ao sistema ILPF 14.

Tabela 9. Taxa de fotossíntese foliar, condutância estomática e transpiração foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, na estação de verão.

Sistemas		Taxa Fotossíntese	Condutância	Transpiração
ILP	PS	29,3 A		
			0,128 A	0,0037 A
ILPF14	A	23,2 FG	0,035 I	0,0011 I
	B	23,9 DE...	0,032 K	0,0010 K
	C	25,69 C	0,042 G	0,0013 G
	D	23,75 DEF	0,043 F	0,0013 F
	E	22,54 G	0,033 J	0,0011 J
ILPF22	A	23,65 EF	0,054 E	0,0017 E
	B	25,20 C	0,073 B	0,0023 B
	C	26,39 B	0,062 D	0,0019 D
	D	24,40 D	0,067 C	0,0019 C
	E	23,72 DEF	0,041 H	0,0014 H

O acúmulo de massa de forragem total foi maior em pleno sol. No sistema ILPF14, o ponto A (a 1m do renque sul) apresentou a menor produtividade, devido ao maior nível de sombreamento (80 %). No sistema ILPF22, o ponto C (a distancia de 11m do renque sul) apresentou acúmulo de massa de forragem total semelhante ao pleno sol; esse ponto no verão recebe radiação fotossinteticamente ativa semelhante ao pleno sol, em vários momentos do dia, principalmente quando o sol está a pino.

Não houve diferença entre os sistemas integrados e as distâncias avaliadas para acúmulo de forragem verde e área foliar específica. O sistema a pleno sol apresentou índice de área foliar superior.

Tabela 10. Acúmulo de massa de forragem total, acúmulo de massa de forragem verde, índice de área foliar e área foliar específica de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas integrados: ILP, ILPF14 e ILPF22. Os pontos A, B, C, D e E correspondem a 1, 4, 7, 10, 13 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF14 e a 1, 6, 11, 16 e 21 m de distância do renque de árvores do lado sul no ILPF22. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

		TAF	TAL	IAF	AFE
ILP	SOL	3443,9 a	2133,1 a	5,00 a	157,7 a
ILPF14	A	718,5 c	449,9 c	1,98 b	213,1 a
	B	1319,3 bc	942,2 abc	2,26 b	307,6 a
	C	1433,9 bc	950,9 abc	2,42 b	250,2 a
	D	1066,2 bc	778,4 bc	2,39 b	177,6 a
	E	953,2 bc	701,1 bc	2,88 b	301,0 a
ILPF22	A	1310,2 bc	707,3 bc	1,73 b	166,5 a
	B	1744,2 bc	1019,9 abc	2,75 b	180,8 a
	C	2436,1 ab	1682,7 ab	3,10 b	187,8 a
	D	1432,9 bc	798,1 bc	2,46 b	179,4 a
	E	1611,9 bc	1061,7 abc	2,36 b	208,0

Outono

Os efeitos das condições microclimáticas sobre as características produtivas e fisiológicas de cada ponto avaliado no outono estão apresentados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Taxa de fotossíntese foliar, condutância estomática e transpiração foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, na estação de outono.

Sistemas		Taxa Fotossíntese	Condutância	Transpiração
ILP	PS	24,25 a	0,098 a	0,0029 a
	A	21,03 c	0,026 j	0,0009 ij
ILPF14	B	22,58 abc	0,023 k	0,0008 j
	C	22,16 bc	0,033 g	0,0012 fg
	D	22,29 bc	0,046 d	0,0015 d
	E	21,26 c	0,032 h	0,0011 gh
	A	21,91 bc	0,052 c	0,0017 c
ILPF22	B	23,36 ab	0,039 e	0,0013 ef
	C	23,29 ab	0,038 f	0,0014 de
	D	22,61 abc	0,057 b	0,0019 b
	E	21,80 bc	0,028 i	0,0010 hi

A taxa de fotossíntese foliar, a condutância estomática e transpiração foliar foram afetadas pelas condições de sombreamento dos sistemas ILPF em todos os pontos avaliados. O ponto a pleno sol apresentou-se superior em todas essas variáveis fisiológicas avaliadas. Os sistemas ILPF14 e ILPF 22 não apresentaram diferença entre si e entre os pontos avaliados. Neste período, o sombreamento estava intenso ao longo de todo transecto entre os renques das árvores.

O acúmulo de massa de forragem total e o índice de área foliar foram maiores em pleno sol, porém não houve diferença entre os sistemas ILPF14 e ILPF22 e nem entre as distâncias dos renques de árvores. Não houve diferença entre os sistemas integrados e as distâncias avaliadas para acúmulo de forragem verde e área foliar específica (Tabela 12).

Tabela 12. Taxa de fotossíntese foliar, condutância estomática e transpiração foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, entre os renques de sistemas: ILPF14, com espaçamento de 14x2m, sendo os pontos; a 1 m do renque sul (A); ponto a 4 m do renque norte (B); ponto a 7 m do renque norte (C); ponto a 10 m do renque norte (D), ponto a 13 m do renque norte (E); e o sistema ILPF22, com espaçamento de 22x2m, a 1 m do renque norte (A); ponto a 6 m do renque norte (B); ponto a 11 m do renque norte (C); ponto a 16 m do renque norte (D), ponto a 21 m do renque norte (E); comparados ao ponto a pleno sol (PS) em sistemas ILP, na estação de outono.

		TAF	TAL	IAF	AFE
ILP	SOL	1929,5 a	628,7 a	2,82 a	267,0 a
ILPF14	A	254,9 b	56,0 b	0,54 b	500,5 a
	B	466,1 b	118,6 b	1,85 ab	763,6 a
	C	468,3 b	103,8 b	1,46 ab	695,2 a
	D	298,0 b	84,6 b	0,94 b	602,8 a
	E	248,5 b	58,8 b	0,74 b	438,0 a
ILPF22	A	537,8 b	234,6 b	1,22 ab	304,7 a
	B	626,8 b	172,9 b	1,28 ab	251,6 a
	C	642,1 b	204,9 b	1,68 ab	214,8 a
	D	456,4 b	127,7 b	1,42 ab	305,7 a
	E	409,2 b	111,0 b	0,69 b	260,8 a

4.4 Discussão

De maneira geral, os pontos avaliados no sistemas ILPF14 não apresentaram diferença entre as variáveis microclimáticas nas estações do ano, devido à altura e projeção da sombra da copa da árvore que alcançava todo estrato inferior do seu sub-bosque. O sistema ILPF22 apresentou maior variação, demonstrando que o espaçamento entre os renques de árvores tem grande influência sobre a intensidade de sombreamento no sub-bosque do sistema.

A radiação solar nas estações de inverno, primavera e outono apresenta um aumento, na declinação solar, com o sol se posicionando aparentemente mais ao norte, o que aliado à orientação dos renques do experimento (Norte-Sul), provocou um aumento do sombreamento nas posições próximas ao renque mais voltado ao norte. Esses resultados estão de acordo os encontrados por Feldhake (2001), em um sistema silvipastoril, em West Virginia, EUA, onde se mediu a RFA que chegava à pastagem em seis distâncias em relação às árvores, 0,0 ; 0,6; 1,8; 3,1; 4,3 e 5,5 m, na direção nordeste, constatando-se reduções de 95, 90, 75, 50, 20 e 0 % na incidência de luz, respectivamente para cada distância. Mesmo em sistema com orientação de plantio leste-oeste, como observado por Bosi (2018), foi observado esse efeito da inclinação solar.

Em sistemas arborizados, um dos maiores efeitos verificados são as mudanças de temperatura. Sob a sombra a temperatura é menor, mas, em período de frios e com ventos proeminentes, a presença das árvores propicia uma amenização da temperatura, pelo efeito de quebra vento. Karvatte et al. (2014) em ensaios realizados na área experimental demonstraram que, no final do inverno, em setembro, período mais seco, a temperatura do ar chegou a ter picos de 43,5°C, 39,4°C e 37,8°C, para os sistemas a pleno sol, ILPF22 e ILPF14. Nesse período, a sombra do sistema menos adensado foi capaz de reduzir em 8,9°C a temperatura; e o mais adensado, 3,1°C. Apesar de se esperar que o sistema ILPF14 apresentasse maior redução na temperatura, devido ao fato de ter maior quantidade de árvores, também representou maior barreira ao vento.

Apesar de ser relatado na literatura que os sistemas arborizados apresentam maior umidade do solo, devido às raízes das árvores serem capazes de buscar água nas camadas mais profundas, há de se levar em conta que as árvores se encontram em fase adulta, aumentando sua densidade volumétrica e a demanda hídrica. Fora isso, os clones de eucalipo urograndis apresentam um enraizamento espaçado, com diversas raízes pivotantes principais, lembrando o tipo “fasciculado”.

O crescimento das espécies forrageiras é determinado pela sua atividade fotossintética diária acumulada diante dos recursos ambientais disponíveis. Quando expostas ao sombreamento, a taxa de crescimento destas espécies é rapidamente restringida em função da limitação de energia necessária para os processos fotossintéticos. Dias-Filho (2002) também observou quedas rápidas na fotossíntese foliar de *Brachiaria brizantha*, uma forrageira tropical perene, quando submetida ao sombreamento. Peri (2002) observou o comportamento fotossintético de *Dactylis glomerata* (Capim-dos-pomares), uma forrageira temperada perene considerada altamente tolerante ao sombreamento, e observou quedas bruscas na atividade fotossintética foliar com níveis de radiação abaixo de 30% em comparação ao pleno sol nas condições de primavera da Nova Zelândia. Da mesma forma, Varella (2002) constatou quedas fotossintéticas foliares rápidas para alfafa, uma forrageira leguminosa perene, quando as condições de luminosidade caíram abaixo de 45% da condição de pleno sol.

Reduções da radiação, mesmo que pequenas, são capazes de alterar o padrão de crescimento das plantas forrageiras. Dentre os principais fatores afetados pela redução da radiação está a fotossíntese, processo primordial para o acúmulo de biomassa. Com intuito de amenizar esse efeito, a planta desencadeia modificações morfológicas a fim de compensar parcialmente a redução em crescimento sob limitação de disponibilidade de luz, um dos principais é o estiolamento, causado pelo aumento do alongamento de colmos, e aumento da área foliar específica.

Os sistemas sombreados apresentaram menores IAF ($P < 0,05$), como já esperado, visto que está diretamente relacionado com o acúmulo de forragem. Por outro lado, os valores de AFE encontrados não eram esperados, pois, geralmente, plantas forrageiras sombreadas apresentam maiores valores de AFE para aumentar a área de absorção de luz (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007). Os menores valores de AFE nos sistemas arborizados indicam que os sistemas apresentaram sombreamento excessivo, não dando à planta condições de se adaptar.

4.5 Conclusões

O microclima gerado em sistemas ILPF alteram completamente as respostas morfofisiológicas e estruturais das plantas forrageiras, sendo que a resposta é variável de acordo com a estação do ano. O nível de sombreamento interfere nas respostas de temperatura e umidade relativa do ar e do solo. O sombreamento proporcionado pelas árvores apresenta efeitos positivos na primavera, logo após a estiagem. De modo geral, os níveis de

sombreamento proporcionados pelos espaçamentos de 14 e 22m foram excessivos. O espaçamento de 14m não é recomendado para implantação de sistemas arborizados na região do cerrado brasileiro. O espaçamento de 22m é recomendado para sistemas arborizados no cerrado brasileiro, porém deve ser feito desbaste entre 5 ou 6 anos, quando atingir 50% de sombreamento.

Referências

- Andrade, C.M., Valentim, J.F., Carneiro, J.C., Vaz, F.A., 2004. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesq. Agropec. Bras.** 39, p.263-270.
- Balbino, L.C., Cordeiro, L.A.M., Porfírio-Da-Silva, V., Moraes, A., Martínez, G.B., Alvarenga, R.C., Kichel, A.N., Fontaneli, R.S., Santos, H.P., Franchini, J.C., Galerani, P.R., 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.** 46, p.i-xii.
- Bosi, C., Pezzopane, J.R.M., Sentelhas, P.C., Santos, P.M., Nicodemo, M.L.F., 2014. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesq. Agropec. Bras.** 49, p.449-456.
- Bungenstab, D.J., Almeida, R.G., 2014. **Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems; a Brazilian experience for sustainable farming.** Brasília, DF: Embrapa. 304p.
- Castro, C.R.T., Garcia, R., Carvalho, M.M., Couto, L., 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **R. Bras. Zootec.** 28, p.919-927.
- Castro, C.R.T., Paciullo, D.S.C., Gomide, C.A.M., Müller, M.D., Nascimento Jr., E.R., 2009. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesq. Flor. Bras.** 60, p.19-25.
- Carvalho, P.C.F., Ribeiro Filho, H.M.N., Poli, C.H.E.C., Moraes, A., Delagarde, R., 2001. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: PEDREIRA, C.G.S. e DA SILVA, S.C. (Ed.) **A Produção Animal na Visão dos Brasileiros**, Piracicaba: FEALQ. p.853-871
- Carvalho, P.C.F., Santos, D.T., Neves, F.P., 2007. Oferta de forragem como condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal. In: Dall'Agnol, M.; Nabinger, C.; Santana, D.M.; Santos, R.J. (Org.). **Sustentabilidade Produtiva do Bioma Pampa**. 1 ed. Porto Alegre: Gráfica Metrôpole Ltda. p. 23-60.
- Davies, A (1993). Tissue turnover in the sward. In: Davies, A.; Baker, R.D.; Grant, S.A.; Laidlaw, A.S. (Ed.). **Sward measurement handbook**, 2nd ed., Reading: British Grassland Society. p.183- 216.
- Deinum, B., Sulastri, R.D., Zeinab, M.H.J., Maassen, A., 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. trichoglume). **Neth. J. Agric. Sci.** 44, p.111-124.
- Dias-Filho, M.B., 2000. Growth and biomass allocation of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesq. Agropec. Bras.** 35, p.2335-2341.

Euclides, V.P.B., 1995. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ. p.245-73.

Evans, J.R., Poorter, H., 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant Cell Environ.** 24, p.755-767.

Flores, R.S., Euclides, V.P.B., Abrão, M.P.C., Galbeiro, S., Difante, G.S., Barbosa, R.A., 2008. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidade de pastejo. **R. Bras. Zootec.** 37, p.1355-1365.

Gamarra, E.L., 2015. **Produção de bovinos em sistemas de integração estabelecidos**. Brasil. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS.

Garcez Neto, A.F., Garcia, R., Moot, D.J., Gobbi, K.F., 2010. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 39, p.42-50.

Gobbi, K.F., Garcia, R., Garcez Neto, A.F., Pereira, O.G., Rocha, G.C., 2010. Valor nutritivo do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos ao sombreamento. **Arch. Zootec.** 59, p.379-390.

Gobbi, K.F., Garcia, R., Garcez Neto, A.F., Pereira, O.G., Ventrella, M.C., Rocha, G.C., 2009. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 38, p.1645-1654.

Gobbi, K.F., Garcia, R., Ventrella, M.C., Garcez Neto, A.F., Rocha, G.C., 2011. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 40, p.1436-1444.

Guenni, O., Seiter, S., Figueroa, R., 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Trop. Grassland.** 42, p.75-87.

Hodgson, J., 1990. **Grazing management: science into practice**. Ed. Longman Scientific & Technical. 203p.

Larcher, W., 2000. As influências do ambiente sobre o crescimento e sobre o desenvolvimento. In: LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e Textos, p.295-338.

Macedo, R.L.G., Vale, A.B., Venturin, N., 2010. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA. 331p.

Marten, G.C., Shenk, J.S., Barton Li, F.E., 1985. **Near-infra red reflectance spectroscopy (NIRS): analysis of forage quality**. Washington: USDA. 110p. (USDA. Agriculture handbook, 643).

Martuscello, J.A., Jank, L., Neto Gontijo, M.M., Laura, V.A., Cunha, D.N.F.V., 2009. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **R. Bras. Zootec.** 38, p.1183-1190.

Minson, D.J., 1990. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 483p.

Mott, G.O., Lucas H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College, p.1380-1385.

Nantes, N.N., Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Lempp, B., Barbosa, R.A., Gois, P.O., 2013. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesq. Agropec. Bras.** 48, p.114-121.

Oliveira, C.C., Villela, S.D.J., Almeida, R.G., Alves, F.V., Behling Neto, A., Martins, P.G.M.A., 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional

characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Trop. Anim. Health Prod.** 46, p.167-172.

Paciullo, D.S.C., Campos, N.R., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Tavela, R.C., Rossiello, R.O.P., 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesq. Agropec. Bras.** 43, p.917-923.

Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., 2007. Fotossíntese foliar do capim-xaraés [*Brachiariabrizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **R. Bras. Zootec.** 36, p.773-779.

Paciullo, D.S.C., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Fernandes, P.B., Müller, M.D., Pires, M.F.A., Fernandes, E.N., Xavier, D.F., 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesq. Agropec. Bras.** 46, p.1176-1183.

Paciullo, D.S.C., Lopes, F.C.F., Malaquias Junior, J.D., Viana Filho, A., Rodriguez, N.M., Morenz, M.J.F., Aroeira, L.J.M., 2009. Característica do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesq. Agropec. Bras.** 44, p.1528-1535.

Pinto, J.C., Gomide, J.A., Maestri, M., (1994). Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **R. Bras. Zootec.** v.23, n.3, p.313-326.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BEHLING, M.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MULLER, M. D.; OLIVEIRA, T. K. de; RIBASKI, J.; RADOMSKI, M. I.; TONINI, H.; PACHECO, A. R. Implantação e manejo do componente florestal em sistemas de integração lavourapecuária-floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHAO, R. L. (Ed.). Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa Responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 4, p. 81-101. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

Silva, S.C., 2009. Conceitos básicos sobre sistemas de produção animal em pasto. In: INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTO, 25, 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, p. 7-36.

Silva, S.C., Nascimento Júnior, D., 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **R. Bras. Zootec.** 36, p.121-138.

Soares, A.B., Sartor, L.R., Adami, P.F., Varella, A.C., Fonseca, L., Mezzalana, J.C., 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **R. Bras. Zootec.** 38, p.443-451.

Stuth, J.W., Kirby, D.R., Chmielewski, R.E. 1981. Effect of herbage allowance on the efficiency of defoliation by the grazing animal. Grass and Forage Science. 36, p.9-15.

Taiz, L., Zeiger, E., 2013. **Fisiologia Vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: Artmed, p.199-242.

Tonato, F., Barioni, L.G., Pedreira, C.G.S., Dantas, O.D., Malaquias, J.V., 2010. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesq. Agropec. Bras.** 45, p.522-529.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As demandas por produtos agrícolas, pecuários e florestais são crescentes, assim como a necessidade de preservação da vegetação natural, aumentando as exigências em relação a sistemas de produção pecuários, para minimizar impactos ambientais. Sistemas de integração, para recuperação e intensificação do uso de pastagens, são alternativas viáveis do ponto de vista técnico, ambiental e socioeconômico, entretanto, são mais complexos, exigem maior capacidade de gestão e maiores investimentos iniciais. Atualmente, existem incentivos e linhas de crédito específicas para sistemas de integração, mas ainda há carência de informações e de profissionais qualificados para trabalhar nessa área, sendo necessários mais esforços na formação e capacitação de recursos humanos.

Nos sistemas ILPF, a produtividade do sub-bosque é influenciada de maneira direta pela RFA incidente, já que esta consiste na principal fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Reduções da radiação, mesmo que pequenas, são capazes de alterar o padrão de crescimento das plantas forrageiras e, conseqüentemente, sua produção de forragem e desempenho animal. Dentre os principais fatores afetados pela redução da radiação está a fotossíntese, processo primordial para o acúmulo de biomassa. Com intuito de amenizar esse efeito, modificações morfológicas ocorrem a fim de compensar parcialmente a redução em crescimento sob limitação de disponibilidade de luz. Uma das principais modificações é o estiolamento, causado pelo aumento do alongamento de colmos, e aumento da área foliar específica

Os sistemas sombreados apresentaram menores IAF ($P < 0,05$), conforme já esperado, visto que está diretamente relacionado com o acúmulo de forragem. Entretanto os valores de AFE não eram esperados e indicam que havia excesso de sombra nos sistemas arborizados. Geralmente, plantas forrageiras sombreadas apresentam maiores valores de AFE para aumentar a área de absorção de luz (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007).

Considerando somente o produto florestal, o sistema de ILPF com mais árvores apresenta potencial para maiores receitas, entretanto, também apresenta menores receitas provenientes da lavoura e da pecuária. Costa et al. (2012), em estudo de avaliação econômica desses sistemas voltados para a recuperação de áreas degradadas, concluíram que: (1) a ILP exige menos recursos para implantação, além de gerar benefício líquido positivo desde o primeiro ano, sendo uma opção atraente para produtores que não têm recursos próprios ou não estão dispostos a contrair empréstimos para fazer investimentos e também para produtores

que preferem assegurar renda no curto prazo ou que não têm condições de suportar caixa negativo por período mais prolongado; a ILPF exige maior investimento para implantação, o que pode ser uma barreira à sua adoção; além disso, o fluxo de caixa líquido por vezes se apresenta negativo, dada a esperada queda na produção de carne em virtude do componente arbóreo, mas, por outro lado, o perfil de longo prazo desses sistemas, que inclui significativas receitas geradas pelo eucalipto, resulta em alto retorno para o capital investido.

Dessa forma, as respostas encontradas neste estudo indicam que plantas forrageiras crescendo sob restrição de luz promovida pela presença de árvores nos sistemas integrados, quando o sombreamento passa a ser intenso, acima de 45%, afetam negativamente a colheita de forragem pelos animais em pastejo, comprometendo o desempenho e produtividade animal, apesar da oferta de uma forragem de melhor valor nutritivo e do menor nível de estresse térmico de pastos crescendo sob árvores.

Ao final do segundo ciclo de produção, os níveis de sombreamento proporcionados pelos espaçamentos de 14 e 22m foram excessivos. O espaçamento de 14m não é recomendado para implantação de sistemas arborizados na região do cerrado brasileiro. O espaçamento de 22m é recomendado para sistemas arborizados no cerrado brasileiro, porém deve ser feito desbaste com 5 anos ou quando for atingido 50% de sombreamento.

Referencias

BELESKY, D.P.; CHARTTERTON, 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**, Dordrecht, v. 67, p. 51-61, 2006.

CRESTANI, S. **Respostas morfogênicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração Lavoura-pecuária-Floresta**. 2015, p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. et al. Avaliação agronômica de gramíneas forrageiras sob sombreamento de seringueira adulta. In: Congresso Brasileiro em Sistemas Agroflorestais, 2., 1998, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa-CPATU, 1998. p.201-203.

6. CONCLUSÕES

O espaçamento de 14m não é recomendado para implantação de sistemas arborizados na região do cerrado brasileiro. O espaçamento de 22m é recomendado para sistemas arborizados no cerrado brasileiro, porém deve ser feito desbaste com 6 anos ou quando for atingido 50% de sombreamento.