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

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

Steben Crestani

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

**Piracicaba
2015**

Steben Crestani
Engenheiro Agrônomo

**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**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **SILA CARNEIRO DA SILVA**

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

**Piracicaba
2015**

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

Crestani, Steben

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 / Steben Crestani. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

101 p. : il.

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

1. Sistemas integrados 2. Capim-piatã 3. Interceptação luminosa 4. Morfogênese
5. Touceiras 6. Perfilhamento I. Título

CDD 633.2
C922r

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICO

A toda minha família e principalmente aos meus pais **Sérgio Crestani** e **Maria Clélia Lanius**, e à minha irmã **Maraísa Crestani**, que fazem parte das minhas conquistas e tudo que sou.

Muito obrigado.

OFEREÇO

À minha namorada **Camila Spies**, que mesmo na distância sempre me incentivou com carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP pela concessão do curso.

Ao Professor Dr. Sila Carneiro da Silva pela orientação, pelas conversas, paciência e profissionalismo inestimável.

À pesquisadora Dra. Roberta Carnevalli e a Embrapa Agrossilvipastoril Sinop-MT, pela concessão da bolsa de estudo de doutorado, pelo apoio financeiro e estrutural e pelo auxílio na condução dos trabalhos que tornaram possível a realização desse experimento.

Aos amigos, estagiários e pessoas com quem convivi durante a estadia em Sinop – MT, Admar Coletti, Andreia Mello, Beatriz Lima, Eduardo Manfrin, Larissa Garcia, Leonir Bergamo, Marcos Demicheli, Miquéias Michetti, Rafael Almodovar, Suellen Matiero e Tierrys F. Leal Matos que contribuíram na execução do experimento e/ou participaram de momentos divertidos nas horas de lazer.

Aos colegas e companheiros de trabalho, Eliana Geremia e Jorge Daniel Caballero, pela amizade, convivência harmoniosa, empenho e dedicação ao projeto.

Aos colegas Adenilson Paiva, Lilian Engalise Techio Pereira, Marília Chiavegato e ao professor Gerson Barreto Mourão pelo auxílio na construção de ideias, disposição e contribuição na elaboração da tese.

Aos amigos de pós-graduação Aliedson Sampaio, Anderson Braz, Cleonice Fialho, Guilherme Portes Silva, Lucas Rocha Carvalho, Neri Marcante e Thiago Martins dos Santos pelo apoio, auxílio nos trabalhos e convívio em momentos animados durante o período em que residi na cidade de Piracicaba.

A todos os professores e profissionais do Departamento de Zootecnia.

Aos amigos do laboratório de plantas forrageiras (LAPF) pelo companheirismo e convivência.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para esta etapa e não foram lembrados aqui, o meu sincero agradecimento.

“O homem começa a envelhecer quando as lamentações começam a tomar o lugar dos seus sonhos”.

John Barrymore

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 A Brachiaria brizantha cv BRS Piatã	17
2.2 Sistemas agroflorestais	18
2.3 Influência dos sistemas agroflorestais sobre a produção de forragem e a produtividade animal	21
2.4 A luz como modeladora do desenvolvimento vegetal e determinante do manejo do pastejo.....	25
3 HIPÓTESE	33
4 OBJETIVOS	35
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
5.1 Caracterização da área e tratamentos experimentais	37
5.2 Arranjo do experimento com o capim-piatã e controle experimental.....	39
5.3 Avaliações	42
5.4 Avaliação do ambiente luminoso.....	43
5.5 Intercepção luminosa	44
5.6 Altura do dossel.....	45
5.7 Densidade populacional de perfilhos	45
5.8 Demografia do perfilhamento	46
5.9 Dinâmica de touceiras	47
5.10 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos	47
5.11 Análise dos dados.	50
6 RESULTADOS	53
6.1 Controle experimental e características gerais dos pastos	53
6.2 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA).....	55
6.3 Estrutura horizontal	57
6.4 Dinâmica do perfilhamento e densidade populacional de perfilhos.....	60
6.5 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos	64
7 DISCUSSÃO	73
7.1 Regimes de luz e ambiente luminoso.....	73

7.2 Estrutura horizontal.....	75
7.3 Dinâmica do perfilhamento	80
7.4 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos	82
7.5 Considerações finais.....	89
8 CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	93

RESUMO

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

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta estão sendo difundidos por todo o território nacional como medida de atenuação dos impactos causados pelo monocultivo e como estratégia de recuperação de pastagens degradadas. Inúmeras vantagens do sistema são apontadas, no entanto, a inclusão de espécies arbóreas modifica a qualidade e a quantidade da luz disponível para o pasto, provocando alteração no seu padrão de crescimento (vertical e horizontal) e produção de forragem. Partindo da hipótese que em um sistema silvipastoril o dossel arbóreo irá determinar a quantidade e a qualidade de luz disponível para o sub-bosque e, assim, influenciar a dinâmica de crescimento e ocupação da área pelo capim-piatã manejado sob pastejo rotativo utilizando metas de interceptação luminosa (IL) pré-pastejo, o objetivo deste trabalho foi quantificar e descrever as respostas morfogênicas, o padrão de perfilhamento e os processos de ocupação horizontal de *Brachiaria brizantha* cv BRS Piatã [(Hochst. ex A. Rich.) Stapf. syn. *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster] em sistema ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014. O estudo foi desenvolvido por meio de três experimentos realizados de forma concomitante para avaliar três regimes de luz: (1) capim-piatã cultivado em área livre de árvores (pleno sol; PS); (2) sombreamento gerado por meio de fileiras duplas de Eucalipto nas bordaduras dos piquetes (S1); e (3) sombreamento gerado por meio de quatro renques de fileiras triplas de Eucalipto dispostos dentro dos piquetes de forma alternada com porções de pasto (S2). Os regimes de luz S1 e S2 foram divididos em duas faixas de sombra (central e lateral) para descrição da variação da luz dentro dos piquetes. O período experimental foi dividido em três períodos de avaliação em função do índice pluviométrico registrado. Para estudar a influência das árvores sobre a medição de IL, o regime S2 foi manejado utilizando-se dois métodos de tomada da leitura de referência da luz incidente: leitura dentro (sob a copa das árvores) e fora (ausência de árvores) da área experimental. O aumento na densidade de árvores provocou redução na radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de 37 e 12% nas faixas lateral e central em S1 (181 árvores.ha⁻¹) e de 53 e 49% para as faixas lateral e central em S2 (718 árvores.ha⁻¹). O sombreamento influenciou praticamente todas as variáveis-resposta avaliadas, resultando em redução do perímetro médios das touceiras (50%), aumento da frequência de touceiras pequenas (perímetro < 30 cm), diminuição da frequência de touceiras grandes (perímetro > 61 cm), diminuição da densidade populacional (35%) e estabilidade da população de perfilhos (6%), aumento das taxas de alongamento de folhas (16%) e de colmos (594%) e em área foliar específica (40%). O método da leitura de referência para avaliação de IL resultou em maior comprimento de folhas (14%) e de colmos (37%) quando as leituras foram feitas dentro comparativamente a fora da área experimental. Pastos sombreados alteram seu padrão de crescimento e ocupação da área como medida para evitar o sombreamento e maximizar a captação de luz, modificações essas importantes para planejar e definir metas de manejo do pastejo em áreas de ILPF.

Palavras-chave: Sistemas integrados; Capim-piatã; Interceptação luminosa; Morfogênese; Touceiras; Perfilhamento

ABSTRACT

Morphogenetic responses and tussock and tiller population dynamics in *Brachiaria brizantha* cv. Piatã subjected to shade regimes in a crop-livestock-forest integration area

Crop-livestock-forest systems are becoming increasingly popular in Brazil as a means of attenuating the impact of monoculture and to aid in the recovery of degraded grassland areas. Several advantages of this technique have been highlighted, but the inclusion of trees impacts the quantity and the quality of the light available for forage plants growing beneath them, resulting in changes in forage growth (horizontal and vertical) and in herbage production. Based on the hypothesis that in a silvipastoral system the tree canopy determines the quantity and the quality of the light available for forage plants growing below, and that this affects forage growth dynamics and horizontal spreading in rotationally grazed Piatã brachiariagrass managed using pre-grazing light interception targets during regrowth, the objective of this study was to evaluate the morphogenetic responses, tillering, and horizontal growth of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã [(Hochst. ex A. Rich.) Stapf. syn. *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster] in a crop-livestock-forest integration area from December 2013 to July 2014. The study comprised three simultaneous experiments to evaluate three light regimes: (1) Piatã brachiariagrass cultivated in the absence of trees (full natural light; PS); (2) shade produced by a double row of *Eucalyptus* trees on the edges of the paddocks (S1); and (3) shade produced by four triple rows of *Eucalyptus* with pasture in between them (S2). The S1 and S2 light regimes were divided into two shade strips (central and lateral) in order to describe the variation in light availability within the paddocks and its implications to plant growth. The experimental period was divided in three evaluation periods according to rainfall. In order to evaluate the influence of the trees on the measurement of sward canopy light interception and its implications on grass growth, paddocks under the S2 light regime were managed using two methods for taking the reference readings of the incident light: reading inside (under the tree canopy) and outside (full natural light) the experimental area. The increase in tree density resulted in a 37 and 12% reduction in photosynthetic active radiation (PAR) for the lateral and central shade strips of S1 (181 trees.ha⁻¹) and 53 and 49% for the lateral and central shade strips of S2 (718 trees.ha⁻¹). Higher shading resulted in reduction in average tussock perimeter (50%), increased presence of small tussocks (perimeter < 30 cm), decreased presence of large tussocks (perimeter > 61 cm), decreased tiller population (35%) and stability index (6%), increased leaf (16%) and stem (594%) elongation rates and increased specific leaf area (40%). Differences among light regimes across evaluation periods were small. Leaves were 14% longer and stems were 37% longer when readings were taken inside compared to those taken outside the experimental area. Under the trees, swards change their growth and spreading patterns as a means of minimizing the effects of shading and maximizing light capture. These changes have important implications for planning and defining targets of grazing management in crop-livestock-forest integration areas.

Keywords: Integrated systems; Piatã brachiariagrass; Light interception; Morphogenesis; Tussocks; Tillering

1 INTRODUÇÃO

Do início do cultivo da terra e domesticação dos animais pelo homem até os tempos atuais as técnicas de produção de alimentos evoluíram muito e possibilitaram a expansão populacional e a ocupação pelo homem de quase todas as áreas do planeta. Como resultado do aumento crescente da população e consequente demanda, há necessidade de constante aumento da produção de alimentos, alcançado por meio de ocupações de novas áreas para fins de agricultura e/ou aumento de produtividade das áreas já utilizadas, o que gera impactos e transformações ao bioma sendo ocupado e ao ambiente global como um todo. Por essa razão, a utilização de técnicas de produção agrícola que assegurem a manutenção da produtividade e preservação do solo, ao mesmo tempo em que diminuem potenciais impactos ambientais, são preferíveis e estão cada vez mais sendo incentivadas pelos governos e demandadas pela população (BRASIL, 2013). Os sistemas integrados possuem essas prerrogativas e, nas suas diversas modalidades e possibilidades de arranjos entre espécies, possibilitam a manutenção da produção com melhor aproveitamento do espaço e maior diversificação, possibilitando também o aumento da lucratividade e a segurança da produção agrícola (MULLER et al., 2011; PACIULLO et al., 2011a; XAVIER et al., 2011)

O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) inclui, na sua maioria, a produção de grãos, criação de animais e produção de madeira em uma mesma área durante um período determinado pelo manejo do sistema. As diferentes espécies envolvidas interagem na captação e disponibilização dos recursos ambientais disponíveis para seu desenvolvimento. Com isso, há necessidade de conhecimento das técnicas de produção para permitir coexistência das mesmas na área e, se possível, resultados superiores para cada espécie em relação ao seu respectivo monocultivo. O aumento do conforto térmico de animais criados em áreas com sombreamento de cultivos silvipastoris é um exemplo clássico das vantagens que a integração de espécies pode gerar (FERREIRA et al., 2011; LEME et al., 2005). Ao mesmo tempo, a sombra pode provocar alterações produtivas e qualitativas na espécie forrageira, modificando o alimento disponível para o crescimento dos animais (PACIULLO et al., 2011b; PERI et al., 2007).

A produção pecuária é dependente dos processos de crescimento, utilização e conversão da forragem produzida em produto animal (HODGSON, 1990). Esses

pressupostos são os mesmos para a pecuária efetuada em um sistema de ILPF. No entanto, os recursos disponíveis para o crescimento do pasto são alterados de acordo com as espécies presentes no sistema, especialmente a arbórea. As principais alterações provocadas pelas árvores às plantas que estão crescendo sob ou próximas a elas são as alterações na qualidade e quantidade da luz disponível (VARELLA et al., 2011), deposição de liteira florestal (FREITAS et al., 2013) e interação entre diminuição da evapotranspiração pelas espécies forrageiras e aumento da competição por água do solo entre as espécies associadas (DULORMNE et al., 2004). Dessa forma, o dossel arbóreo crescendo sobre o pasto pode beneficiar ou inviabilizar o desenvolvimento da espécie forrageira sombreada.

Em especial, a luz é o recurso ambiental mais rapidamente afetado para as plantas forrageiras cultivadas sob árvores (PERI et al., 2003). A limitação da quantidade de luz disponível pode comprometer a produção de forragem, principalmente quando associada à qualidade da luz disponível. Alterações na qualidade da luz ocorrem em função da absorção seletiva dos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e ao azul pelas árvores e podem provocar alteração na morfogênese e na estrutura do dossel forrageiro (PACIULLO et al., 2008), influenciando o valor nutritivo e a ingestão de nutrientes pelos animais em pastejo.

Com base no exposto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar e descrever as variações nas respostas morfogênicas e estruturais de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã cultivada sob regimes contrastantes de luz em área de integração lavoura-pecuária-floresta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A *Brachiaria brizantha* cv BRS Piatã

O capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv BRS Piatã), planta forrageira estudada no presente trabalho, foi selecionado pela EMBRAPA a partir de uma coleção de espécies forrageiras originalmente coletadas pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na África. Esse novo cultivar foi lançado pela Embrapa e parceiros em 2007. Dentre os cultivares de *Brachiaria brizantha*, é uma opção para a diversificação das pastagens, tendo produção de forragem de melhor qualidade ao Marandu e ao Xaraés, maior acúmulo de folhas e maior tolerância a solos com má drenagem relativamente ao Marandu, assim como maior aptidão para diferimento do pastejo relativamente ao Xaraés (EMBRAPA-CNPGC, 2015).

Os cultivares Piatã, Xaraés e Marandu de *Brachiaria brizantha* foram estudados sob condições de pastejo durante três anos com a finalidade de testar e comparar a produção e o valor nutritivo da forragem produzida assim como a resposta correspondente em ganho de peso em bovinos. O cultivar Xaraés foi o que apresentou a maior produtividade de forragem, porém as principais variações encontradas entre os três cultivares foram de ordem morfológica (EUCLIDES al., 2008). Como consequência, foi obtido maior ganho de peso diário por animal para o cultivar Piatã e maior taxa de lotação e ganho animal por unidade de área para o cultivar Xaraés (EUCLIDES et al., 2009). Com a finalidade de desenvolvimento de práticas de manejo do capim-piatã, Nantes et al. (2013) avaliaram o desempenho de bovinos de corte em pastos manejados sob lotação contínua mantidos a 15, 30 e 45 cm de altura. O ganho diário por animal não foi influenciado pelas alturas de manejo (650 ± 47 g por novilho), mas o ganho de peso por hectare durante o período das águas foi de 1050, 910 e 635 kg para as alturas de 15, 30 e 45 cm, respectivamente. Segundo os autores, sob lotação contínua, o capim-piatã deve ser manejado entre 15 e 30 cm de altura.

Santos et al. (2013) observaram que em ausência de déficit hídrico no solo o capim-piatã foi menos produtivo que o capim-marandu. Contudo, sob condições de déficit hídrico, o capim-piatã apresentou menor senescência foliar, mantendo-se verde por mais tempo. Resultado semelhante foi obtido por Pezzopane et al. (2014), onde o capim-piatã demonstrou menor redução de desenvolvimento em função de

estresse hídrico relativamente aos capins Xaraés, Marandu e Paiaguás, apesar de ter sido menos produtivo na ausência de restrição hídrica. Em condições de alagamento, o capim-piatã apresentou menor redução na produção de raízes, no perfilhamento e no crescimento diário relativo comparativamente ao capim-marandu, demonstrando, assim, maior tolerância a condições de drenagem deficiente do solo (CAETANO; DIAS-FILHO, 2008).

2.2 Sistemas agroflorestais

Os sistemas de produção agroflorestais compreendem os Sistemas Agrossilviculturais, correspondentes aos cultivos agrícolas e de árvores, incluindo arbustos e/ou trepadeiras; os Sistemas Silvipastoris (SSP), correspondentes às pastagens e/ou animais e árvores; e os Sistemas Agrossilvipastoris (ou ILPF), correspondentes aos cultivos agrícolas, de pastagens, animais e árvores (DANIEL et al., 1999). Esses sistemas têm sido utilizados naturalmente por várias civilizações com o cultivo ou extração de diferentes produtos vegetais e/ou animais em uma única área. Recentemente, devido a vantagens econômicas, sociais e ambientais, tem aumentado o interesse do homem no entendimento das inter-relações entre as atividades com crescimento de estudos científicos sobre a sua implantação e cultivo (ARAÚLO FILHO, 2010).

Em comparação aos monocultivos, a implantação e cultivo de sistemas integrados são, na sua maioria, mais complexos, sendo necessário o domínio da produção de mais de uma espécie de interesse além de ser necessário conhecer também os efeitos que cada espécie impõe sobre a outra. Dessa forma, há necessidade de aprimoramento das técnicas de cultivo consorciado entre espécies que exigem manejos diferenciados para que, além de vantajosos ambientalmente, os sistemas integrados também sejam vantajosos economicamente, fator determinante para a adoção da técnica pelos produtores rurais (DIAS-FILHO; FERREIRA, 2007). O interesse e importância de sistemas integrados podem ser notados pelas metas estabelecidas pelo governo federal que, como parte do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), se comprometeu em disponibilizar recursos para a pesquisa e implantação de 4 milhões de hectares de sistemas agrossilvipastoris até 2020 com o principal objetivo de melhorar a

sustentabilidade da pecuária brasileira (BRASIL, 2010) e permitir que os sistemas integrados se tornem uma realidade no território nacional.

Os sistemas silvipastoris são apontados como uma técnica que diminui o impacto ambiental sobre as áreas cultivadas e como alternativas para a recuperação de áreas em processo de degradação ou degradadas, razões pelas quais pesquisas com o tema vêm sendo realizadas em todo o território nacional (e.g. XAVIER et al., 2014) e mundial (CUBBAGE et al., 2012), com sistemas implantados em diversos níveis de intensificação e com diferentes interesses na cadeia produtiva. As vantagens no seu uso estão relacionadas com o maior aproveitamento dos diferentes estratos dos meios de produção – temperatura, água, luz, nutrientes e solo – com o intuito de otimizar o espaço cultivado, potencializar as vantagens microclimáticas e também diminuir o impacto causado ao meio ambiente pelo monocultivo tradicional. Essas vantagens se devem principalmente à capacidade das raízes das árvores em absorver nutrientes de camadas mais profundas do solo relativamente às espécies forrageiras e agrícolas. Posteriormente, com a morte de raízes e desprendimento de folhas, galhos e frutos e seu acúmulo sobre a superfície do solo, aumenta-se a quantidade de material vegetal disponível para decomposição e formação de matéria orgânica, possibilitando, assim, sequestro de quantidades significativas de carbono atmosférico além da manutenção e/ou aumento de produtividade da área cultivada por meio da melhoria das características físicas e químicas do solo (XAVIER et al., 2014).

A deposição de serrapilheira por árvores nos sistemas agroflorestais possui grande variação e, na maioria dos casos, apresenta valores modestos, porém constantes, ao longo dos anos (DIAS et al., 2007). Freitas et al. (2013) caracterizaram a serrapilheira de *Eucaliptus* sp. e *Acacia mangium* em um sistema agrossilvipastoril com milho e braquiária. Os valores médios obtidos foram de 3.271 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de serrapilheira, contabilizando 47 kg ha⁻¹ de N; 0,72 kg ha⁻¹ de P; 27 kg ha⁻¹ de Ca; 2,5 kg ha⁻¹ de S; 6,1 kg ha⁻¹ de Mg e 9,3 kg ha⁻¹ de K. O sistema que integrou Acácia e Eucalipto obteve deposição superior de N em 6,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao sistema de Eucalipto solteiro, evidenciando a importância da utilização de espécies arbóreas com capacidade de fixar N e promover sua disponibilização para o meio. Valores superiores podem facilmente ser obtidos e são proporcionais à população de plantas arbóreas na área. Esse é um ponto decisivo no sistema, pois

quanto maior o número de árvores maior será o aporte de nutrientes na superfície do solo, porém, menor será a área disponível para o cultivo das demais culturas.

As copas das árvores também possuem importante função na diminuição da erosão do solo ocasionada por ventos e chuvas torrenciais, diminuindo as perdas de nutrientes (principalmente por lixiviação), além de manter maior umidade no solo, auxiliando na mineralização da matéria orgânica e disponibilização dos nutrientes para as plantas forrageiras (FREIRE et al., 2010; XAVIER et al., 2011). O produto final é a madeira, que diminui a necessidade de desmatamentos de florestas nativas e pode ser utilizada na infraestrutura da propriedade ou comercializada na indústria de laminados, energia, móveis e papel, dentre outros. A espécie florestal mais comumente utilizada é o *Eucalyptus*, que ocupa 79% da área de reflorestamento no país (BRACELPA, 2009). Apesar de sua serrapilheira ser de menor qualidade relativamente a muitas outras espécies lenhosas (DIAS et al., 2006; FERREIRA et al., 2007), algumas características como fácil obtenção de mudas, rápido crescimento da planta, alta produtividade e facilidade de comercialização da madeira acabam justificando a sua preferência para o plantio, possibilitando menor tempo de vedação do pasto até o pastejo além de possibilitar mais rápido retorno do capital investido.

Mesmo que as árvores possibilitem muitas vantagens os SSP não devem ser interpretados como soluções definitivas, mas sim como auxiliares na manutenção da fertilidade do solo e na diminuição dos impactos causados pelo monocultivo sobre a biodiversidade natural do meio. Fatores como o ataque das espécies lenhosas por formigas e outras pragas (DIAS et al., 2006), crescimento lento com consequência na adaptação de espécies lenhosas ao ambiente pastoril (DIAS et al., 2008), seleção de espécies arbóreas que propiciam baixa penetração de luz e afetam o desenvolvimento das plantas forrageiras no sub-bosque (VERAS et al., 2010) e dificuldade na operacionalidade dos tratos culturais podem encarecer o sistema e desmotivar os agricultores para a implantação de novas áreas (LUSTOSA, 2008). Dias Filho e Ferreira (2007) demonstraram que as principais limitações para a adesão dos produtores rurais aos sistemas de integração pecuária-floresta são a baixa lucratividade inicial (primeiros três ou quatro anos) aliada à necessidade relativamente alta de investimentos na fase de estabelecimento do sistema, sendo que os benefícios ambientais como o aumento da biodiversidade, a conservação ambiental e o sequestro de carbono são considerados de importância

marginal. Nesse ponto os sistemas que integram juntamente culturas anuais merecem destaque por amenizar os custos de correção e adubação do solo, antecedendo a recuperação ou replantio do pasto. O fato contribui para diminuir o tempo de retorno do capital investido, podendo gerar lucro com culturas mais rentáveis e melhorar o aproveitamento da área até o momento em que as espécies arbóreas tenham porte suficiente para evitar o tombamento por ocasião de uso da área por animais (DIAS et al. 2008; MELOTTO et al. 2009). O fato foi demonstrado em estudos na região amazônica em que a combinação de cultura de milho, paricá (*Schizolobium amazonicum*) e *Brachiaria brizantha* para recuperação de pastagens degradadas foi considerada viável, sendo que a produção de milho nos três anos iniciais de estabelecimento do sistema reduziu os custos totais em 70% (MARQUES, 1990).

2.3 Influência dos sistemas agroflorestais sobre a produção de forragem e a produtividade animal

O setor com maior difusão nos cultivos agroflorestais é a pecuária com o cultivo de pastagens, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das árvores ou quando maiores espaçamentos entre plantas possibilitam maior penetração de luz pelo dossel arbóreo. Os efeitos mais claramente observados sobre a produção pecuária são a melhora do bem estar animal e as alterações produtivas e morfológicas das espécies forrageiras na medida em que diminui a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível para fotossíntese (FELDHAKKE et al., 2005; GARCIA et al., 2011).

Rosselle et al. (2012) verificaram que, mesmo em região de clima temperado que possui médias de temperatura mais amenas quando comparadas às áreas de clima tropical, a disponibilidade de sombra influenciou o comportamento diário de bovinos leiteiros. A procura pela sombra foi motivada pela elevação da irradiância solar, umidade relativa e temperatura do ar enquanto que a intensidade do vento acarretou comportamento inverso. Em regiões de clima tropical os benefícios sobre o bem-estar animal podem ser ainda maiores, pois esses fatores climáticos possuem maior amplitude e prejudicam mais facilmente a exteriorização do potencial produtivo dos bovídeos (LEME et al., 2005). Souza et al. (2010), estudando o efeito da disponibilidade de sombra para bovinos da raça nelore, observaram que havendo

disponibilidade de sombra os animais ajustavam os turnos de pastejo ao longo do dia enquanto que na ausência de sombra o pastejo era concentrado nas horas de temperaturas mais amenas.

Apesar dos benefícios sobre o conforto térmico dos animais, um fator determinante do sucesso para a pecuária exercida juntamente com o cultivo de espécies arbóreas é a escolha da espécie forrageira mais adaptada ao SSP. Muitos pesquisadores têm-se dedicado a encontrar plantas forrageiras que consigam manter elevadas produtividades mesmo sob condições de sombreamento. Com esse intuito, Andrade et al. (2004) estudaram o desempenho de plantas forrageiras submetidas a quatro níveis de sombreamento artificial (0, 30%, 50% e 70%) e observaram que com até 50% de sombreamento as gramíneas mais produtivas, capim-marandu (*Brachiaria brizantha*) e capim-massai (*Panicum maximum*), apresentaram redução de produtividade de apenas 13 e 17%, respectivamente. Contudo, reduções acentuadas ocorreram quando as plantas foram submetidas a 70% de sombreamento. O efeito foi semelhante para a leguminosa mais produtiva, o *Arachis pinto* cv. Belmonte. Soares et al. (2009), avaliando a produtividade de diversas plantas forrageiras em função de sombreamento provocado por diferentes arranjos arbóreos, também observaram maior produtividade do capim-marandu relativamente às demais plantas avaliadas. No entanto, os autores destacaram a espécie *Axonopus catharinensis*, que foi a planta forrageira mais adaptada aos tratamentos de maior sombreamento, mantendo produtividade sempre acima de 10.000 kg de MS ha⁻¹. Barro et al. (2012), avaliando a produção de três cultivares do gênero *Paspalum* em pleno sol, sombra intermediária (50%) e sombra intensa (80%), encontraram maiores produções de forragem sob sombra intermediária e pequena queda de produção (11%) para sombra intensa relativamente às plantas cultivadas em pleno sol. Esses dois estudos demonstraram que plantas forrageiras do gênero *Axonopus* e *Paspalum*, que possuem produtividades inferiores às espécies forrageiras dos gêneros mais cultivados tradicionalmente como *Brachiaria* e *Panicum*, podem apresentar resultados superiores de produção forrageira na ausência de condições ótimas para o crescimento como no caso de ambientes severamente sombreados.

Lin et al. (1999) avaliaram a produção de trinta espécies de plantas forrageiras divididas em grupos de leguminosas e de gramíneas de ciclo fotossintético C₃ e C₄. As plantas forrageiras foram avaliadas sem restrição de luz e

sob 50 e 80% de sombreamento artificial durante dois períodos do ano, verão-outono e primavera-início do verão. Com pequenas variações entre espécies, os resultados revelaram as maiores variações ocorrendo entre os grupos de plantas avaliados. As plantas forrageiras pertencentes ao grupo das C₄ obtiveram maior acúmulo durante o verão-outono, assim como foram as mais produtivas nessa época de avaliação, independentemente do nível de sombreamento. Por outro lado, foi o grupo que apresentou a maior redução em produção de forragem na presença das duas intensidades de sombreamento, em relação a plantas sem restrição de luz. Para as gramíneas forrageiras do grupo das C₃, as maiores produções de forragem foram registradas durante a primavera, com diminuição sob condições de sombreamento. Durante o período verão-outono a produção de forragem se manteve estável para os níveis 0 e 50% de sombra. Os resultados evidenciam que as gramíneas do grupo C₄ suportam e elevam a produtividade sob temperaturas mais elevadas relativamente às gramíneas do grupo C₃, e que para ambos os grupos o sombreamento é prejudicial quando as demais variáveis ambientais não são limitantes (LIN et al., 1999).

Além da escolha de espécies forrageiras adaptadas ao sombreamento, as espécies arbóreas possuem diferentes arranjos e interceptação luminosa da copa, o que deve ser considerado quando se objetiva manutenção da produção de forragem no SSP (MACIEL et al., 2002). Silva-Pando et al. (2002) estudaram, durante três anos, a produção de forragem em sistemas sombreados por duas espécies de *Pinus* sp. As espécies florestais influenciaram a RFA disponível para as plantas forrageiras, 46,5 e 18,5% em relação ao sistema sem sombra, sendo que a diminuição da produção teve relação direta com a sombra imposta pelas espécies arbóreas, correspondendo a 52 e 87%, respectivamente.

Uma terceira alteração importante que é observada em SSP é a alteração nas características bromatológicas da forragem e anatômicas nos tecidos vegetais das plantas forrageiras. Geralmente as mudanças em composição bromatológica são apontadas como positivas devido à maior porcentagem de proteína bruta verificada na forragem produzida em pastos sombreados (LIN et al., 2001; CASTRO et al., 1999). Apesar disso, pouca ou nenhuma diferença é observada nas frações fibrosas e na digestibilidade da forragem (MOREIRA et al., 2009; LIN et al., 2001), além de ser observada menor concentração de carboidratos solúveis nas plantas sombreadas (CASTRO et al., 1999; PAEZ et al., 2007; PYSTINA; DANILOV, 2001).

Sabe-se que quando bem manejados, mesmo para espécies forrageiras de ciclo fotossintético C₄, os pastos não limitam o desempenho animal por deficiência de proteína (SANTOS et al., 2005). Portanto, uma provável vantagem do sombreamento das plantas forrageiras estaria na menor espessura dos tecidos responsáveis pela sustentação (esclerênquima), que podem possibilitar maior ingestão de alimento devido à maior taxa de passagem dos tecidos vegetais pelo rúmen (CABRAL et al., 2011). No entanto, o menor perfilhamento observado em plantas sombreadas (PACIULLO et al., 2011bc) provoca diminuição na densidade volumétrica da forragem, o que acarreta diminuição mais pronunciada na massa de bocados na medida em que ocorre o rebaixamento do pasto (PERI et al., 2001). Dessa forma, a não ser que o manejo do pastejo seja ajustado para pastos cultivados sob sombra ou que se observe alguma deficiência extra além da RFA incidente, é improvável que sejam obtidos grandes melhorias em desempenho animal e, principalmente, produtividade animal em pastos sombreados relativamente a pastos cultivados em pleno sol.

Resultados positivos de produção de forragem e desempenho animal em pastos sombreados em comparação com sistemas tradicionais são mais prováveis de serem obtidos em sistemas com baixa densidade de árvores, em áreas que impossibilitam operações com máquinas, em áreas agroecológicas ou, ainda, onde não se objetiva intensificação da produção por meio de adubação. Nessas áreas as vantagens das espécies arbóreas são maximizadas, principalmente quando a deposição de nutrientes e a manutenção da fertilidade do solo superam o efeito negativo do sombreamento sobre a produção de forragem. Isso é alcançado no momento em que há alteração do fator mais limitante para produção, passando de limitação por luz em pastos sombreados para limitação nutricional ou hídrica em pastos cultivados em pleno sol e manejados extensivamente. Paciullo et al. (2011a) avaliaram a produção de *Brachiaria decumbens* e o desempenho de novilhas leiteiras em SSP relativamente a pasto em monocultivo em pleno sol. A análise, correção e adubação da área foram realizadas na implantação do sistema. Sete anos após o sistema ter sido implantado foram iniciadas as avaliações de produção de forragem e de desempenho animal. Nesse momento o sistema com a presença de árvores apresentou 71% de RFA em relação ao sistema tradicional. Ao longo dos três anos de avaliação as principais diferenças em produção de forragem ocorreram entre os anos. Em relação aos sistemas, na média geral entre período de avaliação

e estações o sistema silvipatoril apresentou valores superiores em 13 e 11% para o ganho de peso por animal e por unidade de área, respectivamente, relativamente ao sistema tradicional. O ganho por unidade de área obtido para o sistema sombreado foi de $355 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, resultado considerado discreto em relação ao potencial que as plantas forrageiras utilizadas possuem e que o clima tropical propicia (NANTES et al., 2013). Contudo, o resultado foi bastante superior aos valores obtidos para a média de produção nacional, indicando o potencial de uso de sistemas integrados para obtenção de avanços e melhoria nos índices produtivos da pecuária brasileira.

Quanto às vantagens em termos de maior conservação da umidade do solo, os dados para SSP ainda não são conclusivos e dependem do sistema avaliado. Isso porque, apesar da menor evapotranspiração observada em pastos que recebem menor irradiação solar (DULORMNE et al., 2004), plantas sombreadas direcionam seu crescimento para a captação de luz em detrimento do desenvolvimento de raízes (DIAS-FILHO et al., 2000; PACIULLO et al., 2010), resultando em menor exploração do solo e menor capacidade competitiva com as espécies arbóreas na captação de água e minerais. Ocorre assim um tamponamento das relações hídricas para a planta forrageira dificultando a observação de acréscimo significativo em produção de forragem (DEBRUYNE et al., 2011; FELDHAKE, 2009)

Além dos fatores já citados sobre a produção de forragem e ganho de peso, vale salientar que o conforto térmico é importante para o desempenho reprodutivo dos animais (JORDAN, 2003), razão pela qual pode ser um dos fatores mais positivos da sombra quando se trata de animais com elevado potencial de produção. No entanto, apesar de já ter sido demonstrado que a presença da sombra diminui a frequência respiratória, cardíaca e a temperatura corporal dos animais (GARCIA et al., 2011), pouco se sabe em relação à melhoria nos índices reprodutivos e sobre as alterações fisiológicas em animais quando submetidos a condições de sombra na pastagem.

2.4 A luz como modeladora do desenvolvimento vegetal e determinante do manejo do pastejo

A luz possui propriedades energéticas que são percebidas por pigmentos especializados responsáveis pela realização da fotossíntese. A fotossíntese ocorre

nos cloroplastos e envolve reações complexas que vão desde a oxidação da água até a redução do CO_2 a carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2004). A absorção de luz pelas plantas é realizada principalmente por meio das clorofilas e carotenóides, pigmentos especializados na absorção da luz com comprimentos de onda que vão do azul ao vermelho (400 a 700 nm; luz visível; WHATLEY; WHATLEY, 1982). Dentro dessa amplitude de comprimentos de onda, o azul e o vermelho são os mais intensamente absorvidos e, dessa forma, a alteração na relação entre os comprimentos de onda na radiação disponível constitui o principal indicador da presença de plantas vizinhas e competição por luz (BALLARÉ, 1999). A competição desencadeia uma série de mecanismos fisiológicos e mudanças anatômicas nas plantas com o objetivo de evitar o sombreamento e promover melhor aproveitamento da luz disponível (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A luz disponível para os vegetais em crescimento em pleno sol normalmente ultrapassa a quantidade necessária para assimilação de CO_2 pela fotossíntese (WHATLEY; WHATLEY, 1982), razão pela qual é de se esperar que o sombreamento gerado por um SSP com baixa densidade de árvores não afete significativamente a produção das plantas forrageiras. Peri et al. (2005) avaliaram a produção de forragem de *Dactylis glomerata* em um SSP com sombra moderada (850–950 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fóton irradiado) e intensa (85–95 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fóton irradiado) conjuntamente com a nutrição nitrogenada, temperatura e relações hídricas do sistema. Na ausência de fatores limitantes o maior rendimento quântico (0,036 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fóton irradiado) foi obtido com RFA de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Na presença de limitação hídrica o valor de RFA para máximo rendimento quântico caiu para 350 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Abaixo da concentração ótima de N (4%) a eficiência fotossintética diminuiu linearmente até a taxa mínima de 0,0061 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ de fóton irradiado, sendo que a concentração de clorofila esteve positivamente correlacionada com a concentração de N nas plantas. Em um estudo semelhante e com a mesma disposição dos regimes de luz, Peri et al. (2002a) avaliaram o efeito da alternância da RFA sobre a fotossíntese foliar. A saturação da fotossíntese e máxima taxa fotossintética (26,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ocorreu em luz solar natural (1900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e ao expor as plantas a sombreamento intermediário, a estabilização das taxas fotossintéticas ocorreu aos 120 minutos e correspondeu a 76% dos valores máximos obtidos. Quando as plantas foram expostas em sombreamento severo, a taxa fotossintética estabilizou em 37% da máxima obtida

aos 140 minutos. Ao reestabelecer o fornecimento de luz natural às plantas submetidas ao sombreamento severo foram necessários 37 minutos para recuperação da fotossíntese. O trabalho de Peri et al. (2002a) demonstrou que a fotossíntese necessita de um tempo para reativar taxas elevadas de assimilação de carbono e, dessa forma, nem sempre os valores médios obtidos de RFA em sistemas sombreados representam as variações diárias inerentes ao sistema (FELDHAKKE et al., 2005). Como consequência, pastos sombreados apresentam heterogeneidade de estrutura e produção de forragem em função do caminhar e intensidade da sombra provocados pelas árvores. Apesar disso, na presença de sombreamento menos intenso é possível manter elevadas taxas fotossintéticas e, dessa forma, em situações onde existem outros fatores limitantes que não a luz, pastos sombreados podem gerar produções semelhantes ou superiores àquela de pastos cultivados em pleno sol (PERI et al., 2005).

Em todos os processos, da realização da fotossíntese até a percepção de alterações na quantidade e/ou qualidade de luz, estão envolvidos os pigmentos sensíveis à luz. O fitocromo é um pigmento proteico que absorve luz preferencialmente nas regiões do vermelho (R, 650-680 nm) e do vermelho-distante (FR, 710-740 nm) e, em menor proporção, na faixa do azul (aproximadamente 430 nm). Plantas cultivadas sob condições de sombreamento são irradiadas em maior proporção por luz constituída de comprimentos de onda mais próximos do vermelho distante, fato que altera a estrutura do fitocromo e desencadeia diversos processos metabólicos relacionados à adaptação da planta à qualidade e à quantidade de luz disponível (BALLARÉ, 1999). Essas alterações são chamadas de fotomorfogênese por serem dependentes e desencadeadas não só pela quantidade, mas também pela qualidade da luz incidente (TAIZ; ZEIGER, 2004). Dentre as principais alterações pode-se destacar: aumento da relação parte aérea:raiz; alongamento do colmo (estiolamento); redução do perfilhamento; aumento da área foliar específica (AFE) bem como alterações na relação folha:colmo e no ângulo de inclinação das folhas (MARTUSCELLO et al., 2009; PACIULLO et al., 2008; PERI et al., 2006).

Como as principais alterações morfogênicas das plantas são obtidas pela qualidade da luz incidente, experimentos com sombreamento artificial deveriam ser empregados principalmente quando se objetiva o estudo de variáveis produtivas do pasto. Apesar disso, estruturas compostas por malhas são as mais utilizadas em estudos de resistência/tolerância ao sombreamento de plantas forrageiras, mesmo

em estudos com avaliações anatômicas e morfogênicas de plantas. Apesar de serem efetivas na limitação da quantidade de luz, as malhas são ineficientes em simular a seleção por comprimentos de ondas que ocorrem nas folhas e desta forma não permitem a mesma expressão morfogênica que ocorre em plantas crescidas em sombra natural. Avaliando a confiabilidade de utilização de diferentes estruturas para sombreamento, Varella et al. (2011) compararam a utilização de malha, sombra natural de *Pinus* sp. e estruturas de madeira com meta de redução de 50% na RFA. A redução real de RFA e produção de forragem obtidas nos sombreamentos em relação à luz natural foram de 49 e 68% para sombra natural, 44 e 57% para estrutura de madeira e, 41 e 56% para malha, respectivamente. As relações de R:FR observadas foram de 1,31 para pleno sol, 0,64 na sombra natural, 0,74 para estruturas de madeira e 1,28 para estruturas de malha. Os dados morfológicos das plantas crescidas sob a estrutura de madeira foram semelhantes ao sombreamento natural, demonstrando que a semelhança para as relações R:FR entre o sombreamento natural e a estrutura de madeira foi essencial nas variações qualitativas obtidas. Segundo os autores, o processo que permitiu a alteração na relação R:FR nas estruturas de madeira foram diferentes dos que ocorrem naturalmente nas folhas, mesmo assim os resultados obtidos demonstraram que é uma metodologia eficiente e de preferência em estudos de sombreamento artificial em relação às malhas.

Dentre as características afetadas pela qualidade da luz incidente, a redução no perfilhamento tem importância singular por ser essa a via mais efetiva da planta responder a contrastes de manejo e condições de ambiente (FRANK; HOFMAN, 1994; NABINGER; PONTES, 2001). Tal fato foi descrito por Almeida et al. (2001) em estudo relacionado com o efeito da qualidade da luz sobre o perfilhamento de trigo (*Triticum spp.*), em que a melhoria da qualidade da luz, obtida por meio da adição de luz vermelha, resultou em maior emissão de perfilhos e distribuição mais equilibrada de massa seca entre perfilhos e o colmo principal. Já a diminuição da qualidade da luz, obtida por meio da adição de luz vermelha distante, determinou priorização no acúmulo de massa seca no colmo principal, o que resultou em menor emissão de perfilhos e menor massa seca total. O ambiente luminoso pode ser manipulado por meio da presença e do arranjo de árvores em um SSP além do manejo do pastejo utilizado para realizar a colheita da forragem produzida. Em capim-elefante submetido a estratégias de pastejo rotativo baseadas em metas de interceptação

luminosa (IL) pelo dossel forrageiro para realização dos pastejos, Paiva (2013) demonstrou que intervalos entre pastejos mais longos, associados com a meta de máxima IL em pré-pastejo, resultaram em redução no número de perfilhos basais e aumento de perfilhos aéreos, menor estabilidade da população de plantas e maior proporção de solo descoberto relativamente à meta de 95% de IL. O fato indica que o ambiente luminoso dentro do dossel forrageiro é determinante da estratégia de produção de área foliar e exploração/ocupação da área, podendo comprometer a estabilidade e a produção de forragem da pastagem.

Apesar de conhecidas as implicações dos SSP sobre as variações qualitativas e quantitativas da produção das plantas forrageiras presentes nos sistemas integrados, quantidade limitada de conhecimento existe sobre práticas de manejo que propiciem melhores resultados no crescimento dessas plantas sem comprometer sua persistência e longevidade no sistema. Nesse contexto, as áreas de pastagens em sistemas SSP podem ser beneficiadas do conhecimento e técnicas gerados nos últimos anos a partir de estudos baseados na ecofisiologia de plantas forrageiras e ecologia do pastejo em condições de pleno sol. Estes estudos demonstraram a importância da estrutura do dossel forrageiro como determinante das respostas de plantas e animais (HODGSON, 1985) e indicaram que a origem da formação dessa estrutura está nas relações luminosas no interior do dossel forrageiro (DA SILVA; CARVALHO, 2005; DA SILVA; NASCIMENTO JUNIOR, 2007). Em pastagens, a radiação incidente (quantidade e qualidade), em conjunto com outras variáveis climáticas e edáficas, determina a expressão fenotípica das características morfogênicas das plantas que, por meio de taxas e velocidades de processos, determinam as características estruturais do dossel forrageiro, dentre as quais, particularmente, o índice de área foliar (IAF; LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Este é responsável pelo suprimento dos fotoassimilados necessários para o crescimento e desenvolvimento da planta forrageira e pela produção de forragem (DAVIES, 1988).

À medida que o IAF aumenta e a interceptação de luz é intensificada, ocorre alteração do ambiente luminoso no interior do dossel (quantidade e qualidade da luz), modificando as condições de crescimento das plantas que passam a diminuir o aparecimento e o alongamento de folhas e aumentar o alongamento de colmos, fato que altera o padrão de crescimento e composição morfológica da forragem produzida (Figura 1). Nesse caso o manejo do pastejo seria a forma pela qual o

controle do ambiente luminoso no interior do dossel seria feito, diminuindo a área foliar do pasto, restabelecendo a qualidade da luz e permitindo à planta forrageira voltar a produzir folhas prioritariamente a colmos (DA SILVA et al., 2009). Apesar de as variações microclimáticas serem mais intensas em um sistema que integra árvores e plantas forrageiras, a luz possui papel central na composição e estrutura do dossel forrageiro formado, a qual determina as respostas de plantas e animais no ecossistema pastagem. Em áreas de SSP o ambiente luminoso é modificado não apenas pelo manejo do pastejo imposto às plantas forrageiras, mas, também, pelo tipo e arranjo de árvores na área. As alterações são de ordem quantitativa e qualitativa, análogas àquelas que acontecem durante o processo de rebrotação dos pastos cultivados em pleno sol e submetidos a pastejo rotativo. A diferença é que em áreas de SSP o estrato herbáceo (pastagem), posicionado abaixo do estrato arbóreo, recebe quantidade e qualidade de luz previamente alterados e, dessa forma, a penetração de luz em alta quantidade e qualidade, propiciada pelo pastejo em pastos não sombreados, é limitada e o processo de crescimento e ocupação da área podem ser alterados. Dessa forma, compreender as respostas de plantas forrageiras sob condições de sombra corresponde a uma extensão no conhecimento relacionado com os padrões de crescimento e desenvolvimento de plantas em crescimento livre (rebrotação) em pleno sol, uma vez que o estrato arbóreo passa a ser um amplificador dos contrastes e dos níveis de sombra a que as plantas forrageiras são submetidas. Esse conhecimento é básico para a compreensão dos limites de plasticidade e de resistência das plantas forrageiras ao pastejo nesse tipo de ambiente.

Figura 1 - Modelo conceitual dos fatores envolvidos no crescimento de capim-piatã em um sistema silvipastoril

3 HIPÓTESE

Em um sistema silvipastoril o dossel arbóreo irá determinar a quantidade e a qualidade de luz disponível para os sub-bosques e, dessa forma, influenciar a dinâmica de crescimento e ocupação da área pelo capim-piatã cultivado em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, com consequências para o manejo do pastejo.

4 OBJETIVOS

- Quantificar e descrever o ambiente luminoso em pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistema de ILPF com *Eucalyptus*;
- Quantificar e descrever as respostas morfogênicas e o processo de perfilhamento em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra impostos por arranjos de árvores de *Eucalyptus* em sistema ILPF;
- Descrever e comparar as alterações no processo de ocupação horizontal de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistema ILPF;
- Avaliar diferentes métodos de medição da luz incidente para fins de quantificação da interceptação de luz pelo dossel forrageiro e manejo do pastejo em sistema ILPF composto por arranjo denso de árvores.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área e tratamentos experimentais

O estudo foi realizado em área pertencente à Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop, MT (latitude 11° 51' 43" Sul, longitude 55° 35' 27" Oeste e 384 m de altitude). A área experimental possui 50 ha e encontra-se assentada sobre um latossolo vermelho-amarelo de relevo plano. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca definida e precipitação média anual de 1815 mm. Os dados climatológicos foram coletados na estação meteorológica da Embrapa Agrossilvipastoril e são apresentados na Figura 2, juntamente com os valores históricos obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para os últimos 30 anos.

Figura 2- Índice pluviométrico (mm) e temperaturas máximas e mínimas de agosto de 2013 a julho de 2014 (P, Tmín e Tmáx, respectivamente) e histórica (PH, Tmín.H e Tmáx.H dos últimos 30 anos, respectivamente) para a região de Sinop-MT

O solo foi classificado como argiloso apresentando 283 g kg⁻¹ de areia, 123 g kg⁻¹ de silte e 594 g kg⁻¹ de argila. Após correção e adubação, realizadas previamente à implantação do sistema, a análise de solo apresentou o seguinte resultado: pH (água) = 5,8; MO = 29,5 g dm⁻³; P_(Mehlich) = 14,3 mg dm⁻³; K_(Mehlich) = 71,5 mg dm⁻³; Ca = 2,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,7 cmol_c dm⁻³; SB = 3,3 cmol_c dm⁻³; V = 51% (EMBRAPA, 1999).

Do total de 50 ha, 10 ha estão destinados às instalações para cria e recria de novilhas leiteiras, ordenha, curral e galpões de armazenamento de alimentos, sendo os 40 ha restantes divididos em quadrantes de 10 ha cada (Figura 3), os quais foram divididos em três faixas correspondentes a três regimes de luz: ausência total de árvores (pleno sol - PS); presença de árvores em linhas duplas localizadas nas duas bordas laterais (espaçamento entre árvores de 2 m na linha e 3 m entre linhas - S1); linhas triplas de árvores nas laterais e também no interior da área (espaçamento entre árvores 2 m na linha e 3 m entre linhas - S2). Por se tratar de uma base experimental destinada à avaliação de longo prazo de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) a estrutura física foi estabelecida em 2010 e vem sendo mantida como concebida, variando ao longo do tempo apenas a utilização das áreas entre renques de árvores com a rotação entre lavoura anual e pastagem. Os quadrantes estão dispostos de forma que todos os anos são mantidos 10 ha de lavoura de 1º ano, 10 ha de lavoura de 2º ano, 10 ha de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã (capim-piatã) de 1º ano e 10 ha de pastagem de 2º ano, realizando assim ciclos de dois anos de pastagem e dois anos de culturas agrícolas (um ano com milho/*Brachiaria ruziziensis* para ensilagem e safrinha de feijão caupi, outro ano com milho/capim-piatã semeado nas entrelinhas).

Figura 3 – Foto da área experimental com representação dos quatro quadrantes contendo os arranjos de árvores caracterizadores dos regimes de luz avaliados

O eucalipto (*Eucalyptus urophilla* x *E. grandis* clone H13) foi a espécie arbórea utilizada. Sua implantação foi realizada por ocasião da fase de lavoura de 1º

ano, ocorrida no início de 2011. Em 2014, durante o período experimental deste trabalho, os renques de eucalipto apresentavam altura média de 16 m. O experimento relativo à avaliação da planta forrageira começou a ser manejado com animais a partir de outubro de 2012 como forma de preparar e adaptar o pasto de primeiro ano para as avaliações no ano seguinte, uma vez que o capim-piatã é semeado na entrelinha do milho e disponibilizado para uso animal somente após a colheita do milho para ensilagem. Até novembro de 2013 os pastos foram manejados da forma que seriam utilizados durante o período experimental, ou seja, sob pastejo rotativo utilizando como critério de entrada dos animais nos piquetes a condição de 95% de interceptação da luz incidente e como de saída a altura de 50% da altura de entrada.

5.2 Arranjo do experimento com o capim-piatã e controle experimental

As avaliações relacionadas com as respostas do capim-piatã foram realizadas exclusivamente em pastos de 2^o ano de cultivo entre dezembro de 2013 a julho de 2014. A área, representada por um quadrante de 10 ha, possuía os três regimes de luz (Figura 4) criados conforme os arranjos de árvores descritos acima (PS, S1 e S2). As linhas de plantio das árvores foram ordenadas no sentido Leste-Oeste. A área total disponível entre os renques de árvores para lavoura/pasto possuía tamanhos iguais em todos os regimes de luz. Contudo, em função da presença e do arranjo das árvores nos tratamentos de sombra (S1 e S2), o *layout* foi diferente para cada regime de luz. Além dos espaços entre as linhas de árvores, não foram consideradas para o cálculo da área disponível para lavoura/pasto as margens da espécie arbórea (1,5 m de cada lado da linha de árvores), resultando em faixas de 49 m de largura para o regime PS; 59 m de largura total e 49 m de área útil entre os renques laterais para o regime S1 (densidade de 181 árvores.ha⁻¹ e 89% de área útil para plantio); e 84 m de largura total e 49 m de área útil entre renques de árvores para o regime S2 (4 renques de 6 m de largura somada a área periférica de cada renque de 3 m) (densidade de 718 árvores.ha⁻¹ e 61% de área útil para plantio). Cada faixa de área útil foi dividida em 10 piquetes, os quais foram utilizados para manter os grupos de animais em cada uma das condições de luz durante todo o período experimental (Figura 5).

Figura 4 – Vista dos pastos nos regimes de luz em pleno sol (A), sombreamento 2 (B) e sombreamento 1 (C)

Figura 5 - Croqui da área experimental apresentando os piquetes utilizados para a avaliação de cada um dos regimes de luz (PS, S1 e S2) e para os dois métodos de leitura da interceptação luminosa pelos pastos para o regime S2

Durante o período experimental foi realizada adubação com 100 kg.ha⁻¹ de nitrogênio na forma de uréia divididos em três aplicações: dezembro de 2013, janeiro

e março de 2014. O manejo dos pastos foi comum para todos os regimes de luz avaliados e realizado por meio do método de pastejo rotativo utilizando como meta de entrada dos animais nos piquetes a condição de 95% de interceptação da luz incidente (IL) e como de saída altura não inferior a 50% da altura de entrada (CARVALHO et al., 2009; FONSECA et al., 2012). O pastejo foi realizado por novilhas cruzadas das raças Gir e Holandês Preto e Branco.

O monitoramento da interceptação luminosa para a entrada dos animais nos piquetes foi realizado de duas maneiras: (1) tomando-se como leitura de referência a luz incidente sobre o dossel do pasto (abaixo do dossel das árvores) para todos os regimes de luz; PS, S1 e S2 (leitura “dentro” das faixas úteis), e (2) tomando-se como leitura de referência a luz incidente acima do dossel das árvores (leitura “fora” das faixas úteis, em campo aberto), somente no regime de luz S2 (Figura 5). Do total de 10 piquetes disponíveis para cada regime de luz, três foram utilizados como repetições de campo para as avaliações das respostas da planta forrageira objeto deste estudo. Foram escolhidos os piquetes mais representativos das condições de pasto existentes para cada regime de luz no momento do início do experimento em novembro de 2013 (avaliação visual da altura e massa de forragem). Dessa forma, foram utilizados três piquetes para cada um dos regimes PS, S1 e S2, e outros três para avaliação do método de medição de IL fora no regime de luz S2 (Figura 5).

Em função da distância entre os renques de árvores interferir na quantidade e qualidade de luz, com potenciais efeitos sobre as respostas das plantas dentro da área útil disponível ao longo do ano, os piquetes amostrais dos regimes S1 e S2 foram divididos em três faixas de amostragem (“faixas de sombra”), duas laterais, vizinhas às linhas de árvores, e uma central, posicionada entre as laterais e com maior incidência de luz. As faixas laterais possuíam 4 m de largura contados a partir da margem de 1,5 m da linha de árvores. Como o regime de luz S1 possuía uma largura útil de 49 m, a soma das duas faixas laterais correspondeu a 8 m, restando 41 m caracterizados como faixa central. Para o regime de luz S2, que possuía quatro porções de pasto com dimensão de 12 m cada, localizadas entre os renques de linhas triplas de árvores, as faixas de sombra lateral somaram 8 m e a faixa central 4 m (Figura 6).

Figura 6 - Croqui dos piquetes apresentando os três regimes de luz (PS = sem sombra, S1 = duas linhas de árvores em cada borda do piquete, e S2 = quatro renques com três linhas de árvores cada), faixas de sombra em cada piquete e suas respectivas dimensões (metros)

Em função do *layout* da área experimental, o estudo foi realizado na forma de três experimentos conduzidos concomitantemente de dezembro de 2013 a julho de 2014:

- Experimento 1 – realizado na área do regime PS, contendo somente a faixa de sombra central;
- Experimento 2 – realizado na área do regime S1, contendo as faixas de sombra central e lateral;
- Experimento 3 – realizado na área do regime S2, contendo as faixas de sombra central e lateral, utilizando os diferentes métodos de avaliação de IL.

5.3 Avaliações

As avaliações de altura do dossel forrageiro, interceptação luminosa, demografia do perfilhamento e caracterização do ambiente luminoso foram realizadas continuamente, enquanto que as avaliações de morfogênese e de dinâmica de touceiras foram realizadas em três ocasiões ao longo do período experimental. Para isso, o período experimental foi dividido em três subperíodos de avaliação tomando-se por base a precipitação pluviométrica ocorrida (Figura 2) da seguinte forma: Período 1 - dezembro de 2013, janeiro e fevereiro de 2014; Período 2 - março e abril de 2014; e Período 3 - maio, junho e julho de 2014.

As amostragens foram realizadas considerando três regimes de luz (PS, S1 e S2), duas faixas de sombra nos regimes S1 e S2 (central e lateral) e dois métodos

de avaliação de IL no regime S2 (dentro e fora), conforme descrito anteriormente no *layout* experimental.

A coleta e a tabulação dos dados foram realizadas até o momento em que as taxas de acúmulo de forragem eram tão baixas que os pastos não tinham mais condições de alcançar a meta de 95% de IL para entrada dos animais nos piquetes, fato que ocorreu no mês de julho de 2014.

5.4 Avaliação do ambiente luminoso

As avaliações meteorológicas, incluindo a disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) e de radiação solar líquida (RL) (Figura 7), foram realizadas utilizando-se estações meteorológicas automáticas equipadas com sensores de radiação PAR e saldo radiômetros, respectivamente, acoplados a sistemas automáticos de aquisição de dados (*dataloggers*). Estes foram programados para realizar leituras a cada 5 segundos (com médias a cada 15 min e a cada hora) além de fornecer os valores absolutos (totais) diários com o objetivo de permitir avaliação contínua das diferentes condições de densidade de fluxo de radiação. As estações foram dispostas da seguinte forma:

- Regime de luz PS: uma estação no meio do piquete central;
- Regime de luz S1: quatro estações, sendo uma posicionada abaixo do renque de árvores, outra no centro do piquete e as demais dispostas entre a estação central e as duas linhas duplas de árvores da borda;
- Regime de luz S2: quatro estações, sendo uma posicionada abaixo do terceiro renque (linhas triplas) de árvores, e três estações dispostas na área de pasto, equidistantes uma da outra.
- Controle: uma única estação posicionada em área aberta, plana e gramada, localizada a aproximadamente 500 m da área experimental.

Para contabilização da transmitância em cada regime de luz e respectivas faixas de sombra foi aceito que as estações situadas abaixo do renque de árvores nos regimes de luz S1 e S2 obteriam os mesmos valores se estivessem posicionadas no renque de árvores adjacentes. Dessa forma, foi criada uma quinta estação (teórica) com a extrapolação dos valores dessas estações para uma estação hipotética no renque de árvores do lado oposto da área de pasto.

Figura 7 – Radiação solar líquida (RL), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e umidade relativa do ar (UR) para a região de Sinop-MT, de agosto de 2013 a julho de 2014

5.5 Intercepção luminosa

As avaliações de intercepção luminosa nos piquetes foram realizadas antes e após cada pastejo utilizando-se um ceptômetro analisador de dossel marca LI-COR modelo LAI 2200. As leituras foram realizadas de acordo com a largura das faixas de sombra (centrais e laterais) de cada regime de luz, tomando-se uma medida de referência (acima do dossel) para cada 10 medidas tomadas no nível do solo (abaixo do dossel). Dessa forma, para o regime PS foram realizadas 40 medições; para o regime S1 foram realizadas 40 medições na faixa central e outras 40 nas faixas laterais; e para o regime S2 foram realizadas 20 medições na faixa central e outras 40 nas faixas laterais. As leituras por faixa de sombra dentro de cada piquete foram tomadas de forma casualizada ao longo de uma linha em formato de W utilizada durante todos os procedimentos de amostragem. No momento da tomada das leituras no nível do solo, o ceptômetro era posicionado no ponto médio da distância entre touceiras. O valor de IL do piquete era calculado na forma de média ponderada utilizando-se como fator de ponderação a largura de cada faixa. As avaliações de IL foram realizadas sempre nas primeiras horas da manhã. As leituras de referência, tomadas acima do dossel, foram sempre realizadas no centro dos piquetes e abaixo do dossel arbóreo para o método “dentro”. Para o método “fora”, no regime S2, a leitura de referência era tomada

externamente aos piquetes, de forma que não havia interferência do dossel arbóreo sobre a luz incidente.

O monitoramento da IL dos piquetes era realizado semanalmente após cada pastejo até que se atingisse valor próximo a 90%, ponto a partir do qual o monitoramento passava a ser realizado a cada dois dias como forma de assegurar que a meta de 95% de IL fosse atingida com precisão. Ao atingir 95% de IL eram realizadas as avaliações experimentais que antecediam a entrada dos animais nos piquetes.

5.6 Altura do dossel

As avaliações de altura do dossel forrageiro foram realizadas utilizando-se bastão graduado em centímetros. As leituras foram realizadas de maneira idêntica àquela utilizada para as avaliações de IL, inclusive com o mesmo número de pontos de amostragem. O valor tomado como leitura em cada ponto de avaliação era o que melhor descrevia a condição do pasto nos 20 a 30 cm no entorno do bastão medidor. Durante o pastejo, medições de altura dos piquetes eram tomadas para garantir que o rebaixamento do dossel não ultrapassasse a meta de 50% da altura de entrada para a retirada dos animais dos piquetes. Após a saída dos animais dos piquetes, uma última avaliação de altura era feita para determinar a altura pós-pastejo realizada.

5.7 Densidade populacional de perfilhos

As avaliações de densidade populacional de perfilhos foram realizadas na condição pré-pastejo em dois pontos de amostragem por faixa de sombra (central e lateral). Foram escolhidos pontos representativos da condição média dos pastos no momento da amostragem (avaliação visual de altura, densidade e massa de forragem) utilizando-se armações metálicas de 0,25 m² (0,35 m x 0,71 m). A forragem no interior das armações foi cortada a uma altura de 3 a 5 cm em relação ao nível do solo e as amostras coletadas foram pesadas e sub-amostradas. A contagem do número total de perfilhos foi realizada na sub-amostra e os resultados foram utilizados para calcular a densidade populacional de perfilhos, expressa em perfilhos.m⁻². Posteriormente, a sub-amostra foi colocada para secar em estufa de

circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas. Após secagem o material foi pesado e os resultados utilizados para calcular a massa média por perfilho ($g \cdot \text{perfilho}^{-1}$).

5.8 Demografia do perfilhamento

As avaliações de padrões demográficos de perfilhamento foram realizadas utilizando-se dois anéis de PVC de 15 cm de diâmetro por faixa de sombra (central e lateral) para demarcação dos locais de amostragem, totalizando dois anéis para o regime PS e seis para os regimes S1 e S2 (Figura 8). Nesses locais, por ocasião da primeira avaliação, todos os perfilhos contidos no interior dos anéis foram marcados com arame encapado com plástico colorido da mesma cor. Posteriormente, a cada pastejo, foi realizada contagem dos perfilhos sobreviventes e marcação dos perfilhos novos surgidos utilizando-se uma cor diferente da anterior. A primeira marcação foi caracterizada como geração 0 (G_0), a seguinte como G_1 e assim sucessivamente. Dessa maneira, os perfilhos pertencentes a todas as gerações foram recontados e os novos perfilhos marcados com uma nova cor a cada procedimento de avaliação. Os resultados foram utilizados para determinar as taxas de aparecimento (TAP) e sobrevivência (TSP) de perfilhos. A TAP foi calculada como a proporção do total de perfilhos novos surgidos em relação ao total de sobreviventes da marcação anterior e a TSP como a proporção de perfilhos sobreviventes na contagem atual em relação ao total de perfilhos vivos (sobreviventes + novos) da marcação anterior, respectivamente (CAMINHA et al., 2010). A taxa de mortalidade de perfilhos (TMP) foi calculada como sendo $1 - TSP$. A partir dos valores de TAP e TSP foi determinado o índice de estabilidade da população de perfilhos (BAHMANI, 1999). O índice de estabilidade foi calculado utilizando-se a seguinte equação: $Pf.Pi^{-1} = TSP_x(1 + TAP)$, em que $Pf.Pi^{-1}$ é a proporção de perfilhos existentes no momento 1 em relação à população existente no momento 0. O valor obtido para cada época de avaliação foi calculado por meio da média ponderada dos índices obtidos para cada ciclo de pastejo utilizando como fator de ponderação a duração dos ciclos de pastejo. Valores próximos de 1 indicam equilíbrio entre os processos de morte e aparecimento de perfilhos, denotando estabilidade da população. Valores acima ou abaixo de 1 indicam instabilidade caracterizada por aumento ou diminuição da população, respectivamente.

Figura 8 – Vista dos anéis de PVC e perfilhos marcados com diferentes cores para estudo da demografia do perfilhamento

5.9 Dinâmica de touceiras

As avaliações de dinâmica de touceiras foram realizadas sempre na condição pós-pastejo utilizando-se uma trena de tecido graduada em 0,5 cm. Durante cada procedimento de amostragem era realizado caminhamento ao longo de uma linha em formato de W durante o qual, a cada cinco passos, era registrado se o local estava ocupado por touceira, planta invasora ou correspondia a espaço vazio. As touceiras encontradas em cada ponto de avaliação tinham seu perímetro mensurado. Foram tomados 20 pontos por faixa de sombra (central e lateral). Com base no total de pontos avaliados calculou-se a frequência relativa (%) de ocorrência de touceiras e de espaços vazios.

5.10 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos

As avaliações relativas às respostas morfogênicas e características estruturais das plantas foram realizadas utilizando-se 10 perfilhos marcados dispostos ao longo de duas linhas transectas posicionadas em cada faixa de sombra (cinco perfilhos por transecta), totalizando 30 perfilhos por piquete para os regimes S1 e S2 e 10 perfilhos para o regime PS em cada época de avaliação. Com auxílio de vergalhão, as linhas transectas foram alocadas em pontos representativos da condição média dos piquetes e faixas de sombra no momento da amostragem (avaliação visual da altura e massa de forragem), e os perfilhos escolhidos ao acaso a intervalos de 20 cm (Figura 9). O procedimento de escolha e marcação dos perfilhos foi realizado sempre após a saída dos animais dos piquetes, e as

avaliações realizadas a cada três dias durante todo o período de rebrotação até o momento em que o piquete atingisse a meta pré-pastejo de 95% de IL. Apenas perfilhos basais foram inicialmente marcados. No entanto, durante o período de avaliação, nos casos em que surgiam perfilhos aéreos a partir dos basais monitorados, estes eram incorporados no grupo de perfilhos monitorados e passavam a ser avaliados para compor os valores médios de cada linha transecta.

Figura 9 – Marcação de áreas representativas do pasto com vergalhão para monitoramento da morfogênese em perfilhos

Durante os períodos de monitoramento dos perfilhos foram realizadas as seguintes avaliações: (a) classificação como basal ou aéreo; (b) numeração e classificação das folhas vivas; e (c) medida do comprimento de cada folha e do colmo (colmo + bainhas foliares). Cada uma das folhas foi avaliada com relação às seguintes características: (a) classificação como intacta ou desfolhada; (b) medição do comprimento do limbo foliar; e (c) classificação como folha em expansão, expandida e senescente. As folhas foram consideradas desfolhadas quando parte delas estivesse cortada/decapitada; em expansão quando a lígula não estava exposta (neste caso a referência para mensuração foi a lígula da última folha completamente expandida); expandidas quando a lígula estava visível e/ou a variação em comprimento do limbo era nula entre duas leituras consecutivas; senescentes quando parte do limbo foliar apresentava sinais de senescência; e mortas quando todo o limbo estava comprometido por senescência. O comprimento do colmo foi considerado como sendo a distância do solo (ou de seu ponto de inserção, no caso de perfilhos aéreos) até a lígula da última folha completamente expandida.

A partir dos dados de campo foram calculadas as seguintes variáveis:

- Taxa de aparecimento de folhas ($\text{folha.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e filocrono (dias.folha^{-1}):

$$\text{- TApF} = \text{n}^{\circ} \text{ folhas novas surgidas} . \text{n}^{\circ} \text{ de perfilhos}^{-1} \times \text{duração da avaliação}^{-1}$$

$$\text{- Filocrono} = 1 . \text{TApF}^{-1}$$

- Taxa de alongamento de folhas e de colmos:

A taxa de alongamento e de senescência de folhas (TAIF e TSenF, $\text{cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) foi calculada pela diferença entre o comprimento final (CF) e o comprimento inicial (CI) das folhas em expansão dividida pelo número de dias entre as medidas (ND). Da mesma forma, a taxa de alongamento de colmos (TAIC, $\text{cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) foi obtida pela diferença entre o CF e CI, dividindo-se pelo ND:

$$\text{- TAIF, TSenF e TAIC} = (\text{CF} - \text{CI}) . \text{ND}^{-1}$$

Adicionalmente, para senescência, os valores foram convertidos para % perfiho.dia^{-1} dividindo-se os valores calculados em $\text{cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ pelo comprimento inicial da folha:

$$\text{- TSenF} = 100 . (\text{CF} - \text{CI}) . \text{CI}^{-1} . \text{ND}^{-1}$$

- Número de folhas vivas por perfilho:

O número de folhas vivas por perfilho foi calculado conforme a equação abaixo:

$$\text{- NFV} = (\text{Folhas em expansão} + \text{expandidas} + \text{senescentes}) . \text{n}^{\circ} \text{ de perfilhos}^{-1} \text{ em avaliação}$$

- Comprimento final das folhas:

O comprimento final das folhas (CFF) foi obtido a partir da média do comprimento das folhas expandidas intactas.

- Comprimento final dos colmos:

O comprimento dos colmos foi obtido medindo a altura do ponto de inserção no solo até a lígula da última folha expandida nos perfilhos basais. O CFC foi obtido a partir da média do comprimento final dos colmos dos perfilhos avaliados.

Ao final de cada período de avaliação todos os perfilhos eram coletados e levados para o laboratório onde era realizada separação manual em colmos e folhas vivas. Os componentes separados eram então passados em aparelho integrador de área foliar e levados para secar em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C. Após secagem eram pesados e os dados utilizados para calcular a área específica ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$) de cada componente.

5.11 Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada utilizando-se a técnica de análise de experimentos combinados. Dessa forma, o número de repetições correspondeu ao número de piquetes de amostragem (três) e as causas de variação estudadas foram: regime de luz (PS, S1 e S2), faixa de sombra (central e lateral), método de avaliação de IL (dentro e fora) e período de avaliação (1, 2 e 3). A avaliação de cada uma das causas de variação foi feita combinando-se experimentos, utilizando os pontos e características comuns entre eles. Dessa forma, os efeitos de regime de luz e de período de avaliação, que são comuns aos três regimes de luz (experimentos), permitem que sejam realizadas comparações junto à faixa central, comum a todos eles. O efeito de faixa de sombra (central e lateral) é comum aos regimes de luz S1 e S2, e o efeito de método de avaliação de IL foi avaliado somente sob o regime de luz S2 (Figura 10).

Figura 10 – Representação esquemática da combinação de experimentos para realização da análise relativa aos efeitos de regimes de luz, faixas de sombra e períodos de avaliação.

Os dados foram analisados utilizando-se o PROC MIXED do pacote estatístico SAS, sob modelos lineares mistos com medidas repetidas e usando a metodologia REML (máxima verossimilhança restrita). Os efeitos de piquete (unidade experimental) foram considerados aleatórios juntamente com o erro experimental e todas as demais causas de variação e suas interações foram consideradas como efeitos fixos.

O modelo matemático utilizado foi o seguinte:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + F_{(i)j} + M_{(ij)k} + \omega_{(ijk)m} + P_{(ijk)l} + FP_{(ijk)l} + MP_{(ijk)l} + \varepsilon_{(ijkl)m}$$

Onde:

- y_{ijklm} é a resposta medida/mensurada;
- μ , S_i , $F_{(i)j}$ e $M_{(ij)k}$ são os parâmetros fixos, associados respectivamente à média geral, ao fator regime de sol ($i=1, 2, 3$), ao fator faixa de sombra ($j=1,2$) e ao fator método de avaliação de IL ($k=1,2$);
- $\omega_{(ijk)m}$ é o erro aleatório associado ao piquete $\omega_{(ijk)m} \sim N(0; \sigma_w^2)$
- $P_{(ijk)l}$, $FP_{(ijk)l}$ e $MP_{(ijk)l}$ são os parâmetros fixos, associados ao fator período de avaliação ($l=1,2,3$), à interação entre faixa de sombra e período de avaliação e à interação entre método de avaliação de IL e período de avaliação, respectivamente;
- ε_{ijklm} é o efeito aleatório do erro experimental, $\varepsilon_{ijklm} \sim NID(0; \sigma_e^2)$

Devido ao agrupamento e análise conjunta de dados experimentais oriundos de diferentes experimentos foi averiguada a possibilidade de heteroscedasticidade de variâncias entre os mesmos para cada variável estudada. Na presença de variâncias heterogêneas estas foram consideradas, mas, quando possível, foram agrupadas sob variâncias homogêneas. Além disto, devido à condição de medidas repetidas, foi identificada a melhor estrutura de covariância para cada variável estudada e aquela com menor valor de BIC (critério bayesiano de Schwarz BIC; LITTEL; NATARAJAN; PENDERGAST, 2000) foi escolhida, dentre as seguintes opções: compound symmetric (CS), first-order autoregressive (AR(1)), heterogeneous first-order autoregressive (ARH(1)), first-order autoregressive moving-average (ARMA(1,1)) unstructured (UN), Huynh-Feldt (HF), toeplitz (TOEP), heterogeneous toeplitz (TOEPH) and standard variance components (VC). A correção dos graus de liberdade foi feita utilizando-se o método de Kenward e Rogers (1997). As médias dos tratamentos foram obtidas com o comando LSMEANS e as comparações entre elas, quando adequadas, realizadas pelo teste “t” de Student e probabilidade de erro de 5%. Em caso de interações importantes ($P < 0,05$), foram realizados os desdobramentos correspondentes.

6 RESULTADOS

6.1 Controle experimental e características gerais dos pastos

Os valores de interceptação luminosa durante a rebrotação do pasto para a realização dos pastejos foram mantidos muito próximos da meta estipulada de 95%. De forma geral, a medida que o nível de sombreamento aumentou ocorreu aumento do intervalo de pastejo e redução no número de ciclos de pastejo (Tabela 1) (MASCHERONI, 2015). O aumento do nível de sombreamento também resultou em aumento da altura pré-pastejo dos pastos, redução da massa de forragem pré e pós-pastejo e redução da taxa de acúmulo de forragem (Tabela 2) (MASCHERONI, 2015).

Tabela 1 – Valores médios de interceptação luminosa pré e pós-pastejo, intervalo e número de ciclos de pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Regime de Luz	IL pré-pastejo (%)	IL pós-pastejo (%)	Intervalo de pastejo (dias)	Ciclos de pastejo (dias)
PS	95,4 ± 0,8	81,6 ± 1,1	23	9
S1	95,5 ± 0,9	81,2 ± 0,9	26	8
S2 fora	95,4 ± 0,4	86,9 ± 1,5	28	7
S2 dentro	94,1 ± 0,5	78,0 ± 1,5	35	6

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2.

Tabela 2 – Taxa de acúmulo, altura e massa de forragem (MF) pré e pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Característica	Faixa de sombra	Regime de Luz		
		PS	S1	S2
Altura pré-pastejo (cm)	Central	32,9 a	34,5 a	50,5 a
	Lateral	NA	36,0 b	45,8 a
MF pré-pastejo (kg MS ha ⁻¹)	Central	5370 a	4680 bA	3460 cA
	Lateral	NA	3210 aB	2820 bB
Altura pós-pastejo (cm)	Central	21,8 b	20,0 b	25,9 a
	Lateral	NA	21,8 b	26,1 a
MF pós-pastejo (kg MS ha ⁻¹)	Central	3370 a	3150 aA	2180 bA
	Lateral	NA	2220 bB	1890 bA
Taxa de Acúmulo (kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹)	Central	85,0 a	55,1 bA	35,6 cA
	Lateral	NA	33,6 aB	23,9 bB

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si ($P>0,05$). NA = não avaliado.

Houve efeito de método de medição de IL para altura e massa de forragem em pré e pós-pastejo, com os maiores valores registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de dentro da área experimental (Tabela 3).

Tabela 3 – Altura e massa de forragem (MF) pré e pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental de dezembro de 2013 a julho de 2014

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL	
	Dentro	Fora
MF pré-pastejo (kg MS ha ⁻¹)		
Central	3750 a	2970 b
Lateral	3160 a	2680 a
Altura pré-pastejo (cm)		
Central	56,6 a	43,3 b
Lateral	49,4 a	42,2 b
Altura pós-pastejo (cm)		
Central	27,9 a	23,8 b
Lateral	27,2 a	25,1 a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$).

6.2 Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

Os arranjos das árvores utilizados para gerar os regimes de luz S1 e S2 resultaram em redução de 18,1 e 55,0% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em relação ao regime PS, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Transmitância média diária de radiação fotossinteticamente ativa (relativa ao pasto em pleno sol) em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Regimes de luz	Período de avaliação			Média
	1	2	3	
		(%)		
PS	100	100	100	100
S1	83,1	82,8	79,9	81,9
S2	47,0	49,2	38,8	45,0

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2

Os valores médios de RFA obtidos ao longo do dia para os regimes de luz PS, S1 e S2 foram de 652, 534 e 293 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Maiores valores de RFA foram registrados no período 2 relativamente aos períodos 1 e 3 (equivalentes a 82 e 90% dos valores do período 2, respectivamente) (Figura 11). Em termos médios, para os regimes de luz, entre os períodos 1 e 2, o maior acréscimo em RFA foi observado para o regime PS (123,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na média das horas mensuradas) e o aumento relativo mais acentuado foi observado para o regime S2 (27% de RFA). A variação em RFA entre os períodos 1 e 3 foi semelhante para os regimes PS e S1, com aumento de 16 e 11%, respectivamente. Para o regime S2, a RFA voltou a diminuir no período 3, e correspondeu a 96% da RFA mensurada no período 1.

Figura 11 – Distribuição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo do dia durante os períodos de avaliação e para os regimes de luz pleno sol (PS), sombreamento 1 (S1) e sombreamento 2 (S2)

A variação em RFA para as faixas de sombra nos regimes de luz S1 e S2 foram obtidas com análise das estações meteorológicas separadamente. No regime de luz S2 as estações 2 e 4 e a estação 3 estavam localizadas no meio das faixas de sombra lateral e central, respectivamente, e corresponderam a valores de transmitância de RFA de 47 e 51% relativamente ao regime de luz PS (Figura 12). Em relação ao regime de luz S1, as estações 1 e 5 estavam localizadas na entrelinha das árvores de Eucalipto e as estações 2 e 4 estavam situadas dentro da faixa de sombra central (Figura 12). Leituras de RFA foram realizadas paralelamente às estações meteorológicas com ceptômetro manual para auxílio na quantificação dos valores de RFA incidente nas faixas de sombra do regime de luz S1. Os valores registrados com leitor manual para faixa de sombra lateral foram semelhantes à média obtida entre as estações 1 e 2 e 4 e 5, que quantificaram, na média dos três períodos de avaliação, 63% de transmitância de RFA relativamente a PS. Em relação à faixa de sombra central, o cálculo que melhor relacionou os valores obtidos entre as medições manuais e as estações meteorológicas foi a média entre as estações 1, 2, 3 e 4. Desta forma, o valor de referência de transmitância de RFA para a faixa central do regime de luz S1 foi 81,9 % da obtida no regime de luz PS.

Figura 12 – Distribuição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nos piquetes experimentais durante os períodos de avaliação para os regime de luz pleno sol (PS), sombreamento 1 (S1) e sombreamento 2 (S2)

6.3 Estrutura horizontal

O perímetro médio de touceiras variou com o regime de luz, faixa de sombra e período de avaliação. Houve redução nos valores com o aumento do nível de sombra ocasionado pelos regimes S1 e S2 relativamente ao PS e pela faixa lateral relativamente à central em S1 e S2 (Tabela 5). Em relação aos períodos de avaliação, o regime de luz PS apresentou menor valor para o período 2 relativamente aos períodos 1 e 3. Para os regimes S1 e S2 maiores valores foram registrados no período 1 relativamente aos períodos 2 e 3, exceto para a faixa lateral do regime S1, que apresentou valores estáveis ao longo de todo o período experimental (Tabela 6).

Tabela 5 – Perímetro médio e frequência de espaços vazios e de touceiras com perímetro entre 1 e 30 cm, 31 e 60 cm e com perímetro maior que 61 cm de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
		<u>Perímetro médio (cm)</u>	
Central	59,6 a	44,5 Ab	33,5 Ac
Lateral	NA	35,2 Ba	27,0 Bb
EPM	2,66	1,29	1,88
		<u>Espaços vazios (%)</u>	
Central	14,8 ab	13,2 b	19,1 a
Lateral	NA	20,9 a	23,7 a
EPM	2,24	2,24	1,59
		<u>1 a 30 cm (%)</u>	
Central	11,9 c	30,9 b	46,1 a
Lateral	NA	37,1 b	52,7 a
EPM	4,08	4,08	2,88
		<u>31 a 60 cm (%)</u>	
Central	34,8 a	36,8 a	25,9 b
Lateral	NA	32,5 a	20,1 b
EPM	3,45	3,45	2,44
		<u>Maior que 61 cm (%)</u>	
Central	38,5 a	18,9 Ab	8,9 Ac
Lateral	NA	9,4 Ba	3,5 Bb
EPM	4,43	7,57	0,69

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

A frequência de espaços vazios variou com o regime de luz, período de avaliação, faixa de sombra e com a interação faixa de sombra x período de avaliação. Na faixa de sombra central maiores valores foram registrados no regime S2, menores no S1 e valores intermediários no PS. Não houve diferença entre as faixas laterais dos regimes S1 e S2. O regime S1 apresentou maior valor para faixa lateral relativamente à central (Tabela 5). No período 1 não houve diferença entre as faixas de sombra para S1, mas maiores valores foram registrados para a faixa lateral relativamente à central para S2. No período 2 ocorreu o inverso, com diferença entre faixas central e lateral somente para o regime S1. No período 3 não houve diferença entre faixas de sombra para S1 e S2 (Tabela 7).

Tabela 6 – Perímetro médio e frequência de touceiras com perímetro entre 1 e 30 cm, 31 e 60 cm e com perímetro maior que 61 cm de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
<u>Perímetro médio (cm)</u>					
1	61,2 A	52,4 A	38,3 A	43,8 A	34,1 A
2	49,4 B	38,2 B	30,0 A	29,2 B	24,1 B
3	68,3 A	43,0 B	37,5 A	27,4 B	22,7 B
<i>EPM</i>	4,11	3,06	3,06	2,90	2,90
<u>1 a 30 cm (%)</u>					
1	5,56 A	21,6 A	29,1 A	28,9 B	31,1 B
2	23,3 A	41,1 A	45,0 A	50,0 A	57,5 A
3	6,7 A	30,0 A	37,2 A	59,5 A	69,4 A
<i>EPM</i>	7,06	7,06	7,06	4,99	4,99
<u>31 a 60 cm (%)</u>					
1	42,2	33,6	32,0	28,3	27,8
2	34,4	35,6	25,0	23,3	18,1
3	27,8	41,1	40,6	26,1	14,4
<i>EPM</i>	5,98	5,98	5,98	4,23	4,23
<u>Maior que 61 cm (%)</u>					
1	33,3 A (3,43)	25,6 A (20,0)	12,8 A (20,0)	17,8 A (2,47)	6,1 A (2,47)
2	27,8 A (9,88)	13,3 B (4,83)	6,1 A (4,83)	5,0 B (1,42)	1,7 A (1,42)
3	54,4 A (3,73)	17,8 AB (5,95)	9,4 A (5,95)	3,9 B (1,60)	2,8 A (1,60)

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM e valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Tabela 7 – Frequência de espaços vazios (%) em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Período 1</u>			
Central	18,9	18,4 A	25,0 B
Lateral	NA	26,1 A	35,0 A
<u>Período 2</u>			
Central	14,4	10,0 B	21,7 A
Lateral	NA	23,9 A	22,8 A
<u>Período 3</u>			
Central	11,1	11,1 A	10,6 A
Lateral	NA	12,8 A	13,3 A
<i>EPM</i>	3,05	3,05	2,16

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Para cada período, médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

A frequência de touceiras com perímetro de 1 a 30 cm variou com o regime de luz e período de avaliação. Houve aumento nos valores com o aumento do nível de sombra ocasionado pelos regimes S1 e S2 relativamente ao PS (Tabela 5). Em relação ao período de avaliação, os valores permaneceram estáveis durante todo o período experimental para os regimes PS e S1 (faixas central e lateral), variando apenas para o regime S2, com menores valores registrados durante o período 1 e maiores durante os períodos 2 e 3 para ambas as faixas de sombra (Tabela 6).

A frequência de touceiras com 31 a 60 cm variou em função do regime de luz e com a interação método de avaliação de IL x período de avaliação. Menores valores foram registrados para o regime S2 relativamente ao PS e S1. A diferença entre S1 e S2 ocorreu para ambas as faixas de sombra (central e lateral) (Tabela 5). De forma geral não houve diferença entre métodos de avaliação de IL durante todo o período experimental, exceto para a faixa central durante o período 3 de avaliação, quando maiores valores foram registrados para o método de tomada de leitura de referência de IL fora relativamente a dentro da área experimental ($37,8$ e $14,4 \pm 5,98\%$, respectivamente).

A frequência de touceiras com perímetro maior que 61 cm variou com o regime de luz, faixa de sombra e período de avaliação. Houve redução nos valores com o aumento do nível de sombra ocasionado pelos regimes S1 e S2 e pela faixa lateral relativamente à central (Tabela 5). De forma geral os valores permaneceram estáveis durante todo o período experimental, exceto para a faixa central dos regimes S1 e S2, que apresentaram maiores valores durante o período 1 e menores durante os períodos 2 e 3 (Tabela 6).

6.4 Dinâmica do perfilhamento e densidade populacional de perfilhos

A taxa de aparecimento de perfilhos variou com a faixa de sombra e com o período de avaliação. Menores valores foram registrados para a faixa de sombra lateral relativamente à central no regime S2 (Tabela 8). De forma geral, houve redução progressiva no aparecimento de perfilhos ao longo dos três períodos de avaliação, exceto para o regime PS e faixa lateral do regime S1 em que a redução ocorreu apenas entre os períodos 2 e 3 (Tabela 9).

Tabela 8 – Taxa de aparecimento, mortalidade e índice de estabilidade da população de perfilhos de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Taxa de aparecimento</u> (perfilhos.1000 perfilhos ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	11,9	13,0 A	14,0 A
Lateral	NA	12,3 A	11,3 B
EPM	1,06	1,06	0,75
<u>Taxa de mortalidade</u> (perfilhos.1000 perfilhos ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	11,8	10,9	12,4
Lateral	NA	12,7	12,1
EPM	0,66	0,66	0,47
<u>Índice de estabilidade</u>			
Central	0,89	0,92	0,88
Lateral	NA	0,83	0,80
EPM	0,01	0,04	0,07

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 9 – Taxa de aparecimento e mortalidade e índice de estabilidade da população de perfilhos de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
<u>Taxa de aparecimento</u> (<i>perfilhos.1000 perfilhos⁻¹.dia⁻¹</i>)					
1	16,6 A	20,5 A	17,4 A	22,0 A	16,9 A
2	16,4 A	14,5 B	15,1 A	12,6 B	13,1 B
3	2,64 B	4,14 C	4,45 B	7,53 C	3,88 C
<i>EPM</i>	1,83	1,83	1,83	1,29	1,29
<u>Taxa de mortalidade</u> (<i>perfilhos.1000 perfilhos⁻¹.dia⁻¹</i>)					
1	9,64 B	9,70 A	12,2 A	11,4 A	11,4 A
2	15,1 A	11,5 A	12,9 A	12,3 A	12,1 A
3	10,6 B	11,5 A	13,1 A	13,6 A	12,6 A
<i>EPM</i>	1,15	1,15	1,15	0,81	0,81
<u>Índice de estabilidade</u>					
1	1,05 A	1,12 A	1,01 A	1,20 A	0,97 A
2	0,93 B	0,97 A	0,92 A	0,81 B	0,83 A
3	0,71 C	0,69 B	0,57 B	0,61 C	0,59 B
<i>EPM</i>	0,03	0,03	0,03	0,10	0,10

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média.

A taxa de mortalidade de perfilhos variou com o método de avaliação de IL e com o período de avaliação. Maiores valores foram registrados na faixa central dos regimes S2 quando a leitura de referência para avaliação de IL foi tomada fora relativamente a dentro da área experimental ($13,6$ e $11,3 \pm 0,66$ perfilhos.1000 perfilhos⁻¹.dia⁻¹). De forma geral, a mortalidade de perfilhos permaneceu relativamente estável ao longo de todo o período experimental, exceto para o regime PS, em que maiores valores foram registrados no período 2 relativamente aos períodos 1 e 3 (Tabela 9).

O índice de estabilidade da população de perfilhos variou em função do regime de luz e do período de avaliação. Apesar de a análise de variância apontar variação entre os regimes de luz ($P=0,040$), o teste de comparação de médias não apontou a diferença. Porém, quando considerada a média entre faixas de sombra, o regime S2 apresentou valores menores que PS e S1, sendo que valores mais próximos de 1 foram registrados na faixa central relativamente à lateral (Tabela 8). De forma geral, houve redução no índice de estabilidade do início para o final do experimento, com maiores valores registrados durante o período 1 e menores durante o período 3. Nos regimes de luz PS e S2 (faixa central) a redução foi progressiva ao longo dos três períodos de avaliação enquanto que para o regime S1 (ambas as faixas de sombra) e S2 (faixa lateral) a redução ocorreu somente a partir do período 2 de avaliação (Tabela 9).

A densidade populacional de perfilhos variou com o regime de luz, faixa de sombra e período de avaliação. Menores valores foram registrados para o regime S2 relativamente aos regimes PS e S1. A diferença entre S1 e S2 ocorreu para ambas as faixas de sombra (central e lateral), sendo que houve diferença entre as faixas central e lateral somente para o regime S1 (Tabela 10). Em relação aos períodos de avaliação, os valores de densidade populacional permaneceram estáveis para a faixa central do regime S2 ao longo de todo o período experimental. A faixa lateral registrou maior valor no período 2 relativamente ao período 3, sem diferenças em relação ao período 1, que apresentou valor intermediário. Para os regimes PS e S1 (faixa central), maiores valores foram registrados nos períodos 1 e 2 de avaliação relativamente ao período 3. Para o regime S1 (faixa lateral), maiores valores foram registrados no período 2, menores no período 3 e intermediários no período 1 (Tabela 11).

Tabela 10 – Densidade populacional de perfilhos e massa de 1000 perfilhos de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
	<u>Densidade populacional</u> (perfilhos.m ⁻²)		
Central	964 a	879 Aa	676 Ab
Lateral	NA	694 Ba	571 Ab
EPM	35,4	17,1	39,4
	<u>Massa de 1000 perfilhos</u> (g)		
Central	43,0 a	38,9 Aa	40,1 Aa
Lateral	NA	34,1 Bb	38,9 Aa
EPM	1,60	1,25	1,57

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 11 – Densidade populacional de perfilhos de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz			
	PS	S1		S2
		Central	Lateral	Central Lateral
		(perfilhos.m ⁻²)		
1	1029 A	925 A	694 B	712 A 589 AB
2	1078 A	1009 A	825 A	742 A 724 A
3	785 B	704 B	564 C	575 A 400 B
EPM	61,3	29,6		68,2

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média.

A massa de perfilhos variou com o regime de luz, faixa de sombra e método de avaliação de IL. De forma geral, os valores foram relativamente estáveis para os regimes de luz, porém houve redução na massa dos perfilhos na faixa lateral relativamente à faixa central para o regime S1. O mesmo não aconteceu para o regime S2. Para a faixa lateral, maiores valores foram registrados para o regime S2 relativamente ao regime S1 (Tabela 10). Em relação ao método de avaliação de IL, menores valores foram registrados para a faixa central quando a leitura de referência da IL foi tomada fora da área experimental (Tabela 12).

Tabela 12 – Massa de 1000 perfilhos em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental de dezembro de 2013 a julho de 2014

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL	
	Dentro	Fora
Central	44,6 a	35,6 b
Lateral	41,8 a	36,0 a
<i>EPM</i>	2,22	

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média.

6.5 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos

A taxa de aparecimento de folhas (TApF) variou com a faixa de sombra e período de avaliação. Maiores valores foram registrados para a faixa central relativamente à lateral somente para o regime S2. Não houve diferença entre faixas de sombra para o regime S1 (Tabela 13). Independentemente de regime de luz e de faixa de sombra, maiores valores de TApF foram registrados nos períodos 1 e 2 de avaliação relativamente ao período 3 (Tabela 14).

Tabela 13 – Taxa de aparecimento, alongamento e senescência de folhas de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Tx de aparecimento de folhas</u> (folhas.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	0,080	0,076 A	0,082 A
Lateral	NA	0,071 A	0,069 B
EPM	0,005	0,005	0,003
<u>Tx de alongamento de folhas</u> (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	1,56 ab	1,27 b	1,80 a
Lateral	NA	1,57 a	1,81 a
EPM	0,12	0,12	0,08
<u>Tx de senescência de folhas</u> (%.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	4,66	5,29	5,75
Lateral	NA	5,99	5,77
EPM	0,50	0,50	0,35
<u>Tx de alongamento de colmo</u> (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)			
Central	0,029 b	0,038 b	0,162 a
Lateral	NA	0,087 b	0,183 a
EPM	0,013	0,023	0,017

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

A taxa de alongamento de folhas (TAIF) variou com o regime de luz e período de avaliação. Maiores valores foram registrados para o regime S2 relativamente ao S1, sem diferença em relação ao PS, que apresentou valores intermediários (Tabela 13). De forma geral, o alongamento de folhas se manteve estável entre os períodos 1 e 2, diminuindo para o período 3, exceto para a faixa central do regime S1, em que a redução ocorreu de forma progressiva do período 1 até o período 3 (Tabela 14). A taxa de senescência de folhas (TSenF) variou apenas com o período de avaliação. O efeito foi caracterizado por diminuição da senescência do período 1 para os períodos 2 e 3 (que não diferiram entre si) somente para o regime S2 (faixas central e lateral). Para o regime PS e S1 (faixas central e lateral) os valores de TSenF permaneceram estáveis ao longo de todo o período experimental (Tabela 14).

Tabela 14 – Taxa de aparecimento, alongamento e senescência de folhas de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
<u><i>Tx de aparecimento de folhas</i></u> (folha.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)					
1	0,107 A	0,110 A	0,105 A	0,103 A	0,094 A
2	0,110 A	0,090 A	0,088 A	0,092 A	0,091 A
3	0,023 B	0,027 B	0,020 B	0,052 B	0,021 B
<i>EPM</i>	0,008	0,008	0,008	0,006	0,006
<u><i>Tx de alongamento de folhas</i></u> (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)					
1	2,27 A	2,01 A	2,38 A	2,32 A	2,52 A
2	2,08 A	1,44 B	1,93 A	2,16 A	2,30 A
3	0,35 B	0,36 C	0,41 B	0,92 B	0,59 B
<i>EPM</i>	0,19	0,19	0,19	0,21	0,21
<u><i>Tx de senescência de folhas</i></u> (%.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹)					
1	5,10 A	5,55 A	6,46 A	8,04 A	8,41 A
2	3,57 A	5,81 A	6,24 A	4,42 B	4,65 B
3	5,30 A	4,50 A	5,29 A	4,78 B	4,26 B
<i>EPM</i>	0.82	0.82	0.82	0.58	0.58

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média.

A taxa de alongamento de colmo (TAIC) variou com o regime de luz, período de avaliação e com a interação faixa de sombra x período de avaliação. Maiores valores foram registrados para o regime S2 relativamente aos regimes PS e S1. A diferença entre S1 e S2 ocorreu para ambas as faixas de sombra (central e lateral) (Tabela 13). De forma geral, não houve diferença entre as faixas central e lateral durante todo o período experimental, exceto durante o período 2, em que maiores valores de TAIC foram registrados para a faixa lateral relativamente à central para o regime S1 (0,085 e 0,020 ± 0,007 cm.perfilho⁻¹.dia⁻¹).

O número de folhas vivas, em expansão e expandidas por perfilho variou apenas com o período de avaliação. O número de folhas vivas por perfilho permaneceu estável entre os períodos 1 e 2 e diminuiu durante o período 3 para os regimes PS, S1 (faixa lateral) e S2 (faixa lateral). Para as faixas centrais dos regimes S1 e S2, maiores valores foram registrados no período 2 relativamente àqueles registrados nos períodos 1 e 3, sendo que para a faixa central do regime S2 os valores registrados no período 3 foram os menores relativamente aos períodos 1 e 2 (Tabela 15). O número de folhas em expansão por perfilho permaneceu estável para

os regimes PS e S2 (faixa lateral), sendo que para os regimes S1 (faixas central e lateral) e S2 (faixa central) maiores valores foram registrados durante o período 2 relativamente aos períodos 1 e 3 (Tabela 15). O número de folhas expandidas por perfilho permaneceu estável entre os períodos 1 e 2 e diminuiu durante o período 3 para os regimes PS e S1 (faixa lateral). Para as faixas centrais do regime S1 e lateral do regime S2, maiores valores foram registrados no período 2, menores no 1 e intermediário no período 3. Na faixa central do regime S2 o maior valor foi registrado durante o período 2 relativamente a 1 e 3 (Tabela 15).

Tabela 15 – Número de folhas vivas, em expansão e expandidas por perfilho em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Total em área de IEP - de dezembro de 2010 a junho de 2014					
Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
<u>Número de folhas vivas</u>					
1	4,86 A	3,49 B	4,17 A	4,05 B	4,29 A
2	4,73 A	4,49 A	4,84 A	5,00 A	4,60 A
3	2,49 B	2,74 B	2,58 B	3,47 C	3,04 B
<i>EPM</i>	<i>0,24</i>	<i>0,30</i>	<i>0,30</i>	<i>0,18</i>	<i>0,18</i>
<u>Número de folhas em expansão</u>					
1	1,11 A	0,82 B	0,97 AB	0,90 AB	0,96 A
	(0,08)	(0,02)	(0,02)	(0,06)	(0,06)
2	1,00 A	1,03 A	1,07 A	1,02 A	0,95 A
	(0,06)	(0,03)	(0,03)	(0,04)	(0,04)
3	0,87 A	0,84 AB	0,77 B	0,70 B	0,78 A
	(0,11)	(0,08)	(0,08)	(0,08)	(0,08)
<u>Número de folhas expandidas</u>					
1	3,42 A	2,38 B	2,96 A	2,70 B	2,64 B
2	3,67 A	3,21 A	3,55 A	3,37 A	3,22 A
3	1,20 B	1,48 C	1,03 B	2,24 B	1,69 C
<i>EPM</i>	<i>0,16</i>	<i>0,27</i>	<i>0,27</i>	<i>0,19</i>	<i>0,19</i>

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ($P>0,05$). EPM e valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

O número de folhas senescentes por perfilho variou com o regime de luz, período de avaliação e com a interação faixa de sombra x período de avaliação. Maiores valores foram registrados no regime S2 relativamente aos regimes PS e S1. A diferença entre os regimes S1 e S2 não foi detectada quando considerada somente a faixa lateral (Tabela 16). De forma geral, não houve diferença entre as faixas central e lateral durante todo o período experimental, exceto durante o

período 3, em que maior número de folhas senescentes por perfilho foi registrado para a faixa lateral relativamente à central para o regime S1 ($0,79$ e $0,42 \pm 0,09$ folha.perfilho⁻¹).

Tabela 16 – Número de folhas senescentes por perfilho em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
Central	0,27 b	0,32 b	0,55 a
Lateral	NA	0,41 a	0,53 a
<i>EPM</i>	0,09	0,05	0,04

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ($P>0,05$). EPM e valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

O comprimento final da folha expandida e do colmo variou com o regime de luz, faixa de sombra, período de avaliação e método de avaliação de IL. Ambas as variáveis apresentaram maiores valores para o regime S2 relativamente aos regimes PS e S1. Houve diferença entre as faixas central e lateral somente para o regime S1, com maiores valores registrados para a faixa lateral relativamente à central para ambas as variáveis. Para a faixa lateral houve diferença entre os regimes S1 e S2 somente para comprimento do colmo, com maiores valores registrados para o regime S2 (Tabela 17).

Tabela 17 – Comprimento final de colmos e de folhas expandidas intactas de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Comprimento final da folha</u> (cm)			
Central	16,8 b	16,4 Bb	21,3 Aa
Lateral	NA	20,1 Aa	22,3 Aa
<i>EPM</i>	0,41	0,92	0,65
<u>Comprimento final do colmo</u> (cm)			
Central	12,5 b	10,5 Bb	23,0 Aa
Lateral	NA	15,1 Ab	22,8 Aa
<i>EPM</i>	0,62	0,83	0,86

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

O comprimento final da folha expandida diminuiu do período 1 ao 2 para os três regimes de luz, atingindo os menores valores para a faixa lateral do regime S2 no período 3. O comprimento do colmo permaneceu estável ao longo de todo o período experimental para a faixa central dos regimes S1 e S2. Para a faixa lateral (S1 e S2) os valores permaneceram estáveis entre o período 1 e 2 e diminuíram no período 3. O regime de luz PS registrou o maior valor no período 1, menor no 2 e valor intermediário no período 3 (Tabela 18). Tanto o comprimento final da folha expandida quanto o comprimento do colmo foram maiores quando a leitura de referência da IL foi tomada dentro da área experimental, exceto para o comprimento final da folha expandida medido na faixa lateral, condição em que não houve diferença entre os métodos de avaliação de IL (Tabela 19).

Tabela 18 – Comprimento final de folhas expandidas intactas em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
<u>Comprimento final da folha</u>					
(cm)					
1	19,6 A	21,1 A	23,2 A	24,0 A	27,3 A
2	15,3 B	14,0 B	19,9 AB	20,2 B	21,6 B
3	15,5 B	14,0 B	17,2 B	19,8 B	18,1 C
<i>EPM</i>	0,71	1,59	1,59	1,12	1,12
<u>Comprimento final do colmo</u>					
(cm)					
1	15,1 A	12,5 A	16,6 A	24,6 A	26,8 A
2	10,7 B	10,6 A	16,5 A	22,6 A	24,3 A
3	11,7 AB	8,5 A	12,1 B	21,8 A	17,4 B
<i>EPM</i>	1,07	1,44	1,44	1,49	1,49

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média.

Tabela 19 - Comprimento final de folhas expandidas intactas em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL	
	Dentro	Fora
	<u>Comprimento final da folha</u> (cm)	
Central	23,5 a	19,2 b
Lateral	23,0 a	21,7 a
EPM	0,92	
	<u>Comprimento final do colmo</u> (cm)	
Central	27,7 a	18,3 b
Lateral	25,3 a	20,4 b
EPM	1,22	

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2 Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM erro padrão da média.

A área específica das folhas variou com o regime de luz, faixa de sombra, período de avaliação e com a interação de período de avaliação x faixa de sombra. Maiores valores foram registrados para o regime S2 relativamente aos regimes PS e S1 (central e lateral) (Tabela 20). No período 1, maiores valores foram registrados para a faixa lateral em relação à central para os regimes S1 e S2. No período 2, essa mesma diferença ocorreu somente para o regime S1, sem diferença entre faixas para o regime S2. No período 3, não houve diferença entre faixas para o regime S1, porém maiores valores foram registrados para a faixa central do regime S2 (Tabela 21).

A área específica do colmo variou com o regime de luz, período de avaliação e com a interação faixa de sombra x período de avaliação. Maiores valores foram registrados para o regime S2 relativamente aos regimes PS e S1. A diferença entre os regimes S1 e S2 foi detectada para ambas as faixas de sombra (central e lateral) (Tabela 20). No período 1, maiores valores foram registrados para a faixa lateral em relação à central para os regimes S1 e S2. No período 2, não houve diferença entre faixas de sombra para S1 e S2. No período 3, não houve diferença entre faixas de sombra para o regime S1, porém maiores valores foram registrados para a faixa central do regime S2 (Tabela 21).

Tabela 20 – Área específica da folha e do colmo de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Área específica da folha</u> (cm ² .g ⁻¹)			
Central	129 b	135 b	181 a
Lateral	NA	161 b	180 a
EPM	8,75	5,20	6,40
<u>Área específica do colmo</u> (cm ² .g ⁻¹)			
Central	19,8 b	20,9 b	23,6 a
Lateral	NA	22,2 b	24,4 a
EPM	0,60	0,60	0,69

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si (P>0,05). EPM e valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 21 – Área específica da folha e do colmo de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
<u>Área específica da folha (cm².g⁻¹)</u>			
<u>Período 1</u>			
Central	150	181 B	192 B
Lateral	NA	216 A	223 A
<u>Período 2</u>			
Central	154	142 B	176 A
Lateral	NA	178 A	187 A
<u>Período 3</u>			
Central	83	80 A	175 A
Lateral	NA	88 A	131 B
EPM	13.92	6.74	9.84
<u>Área específica do colmo (cm².g⁻¹)</u>			
<u>Período 1</u>			
Central	19,9	22,1 B	22,7 B
Lateral	NA	25,4 A	26,1 A
<u>Período 2</u>			
Central	22,3	23,0 A	22,7 A
Lateral	NA	22,7 A	25,4 A
<u>Período 3</u>			
Central	17,3	17,5 A	25,2 A
Lateral	NA	18,6 A	21,6 B
EPM	1,01	1,01	1,14

PS pleno sol, S1 sombreamento 1, S2 sombreamento 2. Para cada período, médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si (P>0,05). EPM erro padrão da média. NA = não avaliado.

7 DISCUSSÃO

7.1 Regimes de luz e ambiente luminoso

Os valores absolutos de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram determinados das 6:00 às 18:00 h (período em que foram registrados valores acima de zero) e foram utilizados como referência para a comparação entre os regimes de luz e suas respectivas faixas de sombra. Naturalmente, nas primeiras horas do período matutino e nas últimas horas do vespertino os valores de RFA são pequenos, fator que justifica os baixos valores médios diários registrados (652, 534 e 293 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para PS, S1 e S2, respectivamente; Tabela 4) relativamente aos valores obtidos nos horários de maior luminosidade na ausência de sombreamento (superiores a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Figura 11).

A área experimental está localizada próxima à linha do Equador (11° 51' 43" de latitude Sul) e as variações de radiação solar incidente ao longo do ano são pouco alteradas pelas estações do ano. No entanto, devido à mudança anual da inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol, houve alteração na radiação incidente entre as faixas de sombra e regimes de luz avaliados, com o menor valor de RFA registrado durante o período 3 para as faixas de sombra central e lateral do regime S2 (19,9 e 29,0% relativamente ao regime PS). A inclinação solar também fez com que as estações posicionadas nas entrelinhas das árvores em S2, no período 3, apresentassem valores 29,9 e 48,8% superiores de RFA em relação às faixas lateral e central, respectivamente (Figura 12). Mesmo sabendo da alternância de irradiação solar nas margens dos Eucaliptos, optou-se por não desmembrar os valores de RFA para cada uma das faixas laterais de sombra (norte e sul), uma vez que a variação sazonal na radiação incidente é inerente ao sistema de ILPF. Nessa condição, sempre que o plantio das árvores for realizado em linhas no sentido leste-oeste haverá alternância na intensidade de sombreamento nas bordaduras das árvores.

O aumento em densidade de árvores gerado por meio dos regimes S1 (181 árvores.ha⁻¹) e S2 (718 árvores.ha⁻¹) e suas respectivas faixas de sombra resultaram em diminuição de 81% da radiação incidente nas entrelinhas das árvores para os regimes S1 e S2 relativamente ao regime PS. O fato indica que em sistemas de ILPF com arranjos de árvores que utilizam linhas duplas ou triplas adensadas

estabelecidas no sentido leste-oeste a RFA nas entrelinhas das árvores é expressivamente reduzida. Essa menor disponibilidade de RFA resulta em valores baixos de acúmulo de forragem, os quais são pouco relevantes para a alimentação animal e importantes apenas para contabilização da área útil para cálculo da produtividade total do sistema (KALLENBACH et al., 2010).

A variação da RFA ao longo do dia permite uma melhor avaliação da quantidade de luz disponível para as plantas realizarem os processos envolvidos com fotossíntese e crescimento (Figura 11). Peri et al. (2005), avaliando a eficiência fotossintética de plantas em ambiente sombreado, relataram que na ausência de fatores limitantes de crescimento o maior rendimento quântico ($0,036 \mu\text{mol de CO}_2 \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ fóton irradiado) ocorreu com RFA de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A saturação da fotossíntese e a máxima taxa fotossintética ($26,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ocorreram em luz solar natural ($1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo que na presença de sombreamento moderado (850 a $950 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a taxa fotossintética foi estabilizada em 76% do valor registrado em pleno sol (PERI et al., 2001). As estações situadas no centro dos regimes de luz PS, S1 e S2 apresentaram, das 10:00h às 14:00h, valores médios de RFA de 1146, 1140 e $612 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. A estação central em S2 apresentou valores próximos dos observados em PS apenas durante os períodos de avaliação 1 e 2, das 12:00h às 13:00h ($961 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; resultados não apresentados). O fato demonstra que a maior proximidade dos renques de árvores em S2 (15 m de espaçamento) possibilitou valores elevados de RFA disponível para o capim-piatã no sub-bosque somente durante um curto intervalo de tempo durante os períodos do ano em que o eixo central do globo terrestre apresenta inclinação reduzida em relação ao Sol. Mesmo que possam ser obtidos valores elevados de RFA, a proximidade em relação aos renques de árvores também influencia a qualidade da luz disponível para as plantas forrageiras no sub-bosque. Esse fato foi observado para as estações posicionadas lateralmente ao renque de Eucalipto no regime S1 (estações 2 e 4; Figura 12) durante os períodos de avaliação 1 e 2, com valores de RFA 7% superiores àqueles registrados para a estação no regime PS. Essa maior radiação incidente foi provavelmente resultado de reflexão e transmissão da luz pelas folhas das árvores, provocando alteração na luz disponível para o crescimento da espécie forrageira. Ao longo do experimento, menores valores de RFA foram registrados no período 1 relativamente aos períodos 2 e 3 apesar dos dias mais longos típicos dessa época do ano (verão). A razão para isso deve ter sido

a maior nebulosidade normalmente associada com períodos de intensa precipitação pluvial (1580, 228 e 29 mm para os períodos PS, S1 e S2, respectivamente; Figura 2).

7.2 Estrutura horizontal

A estrutura horizontal de um pasto estabelecido é dependente das características genéticas da espécie cultivada, do manejo do pastejo empregado e dos recursos abióticos disponíveis para seu desenvolvimento. O capim-piatã possui hábito de crescimento cespitoso e, em pastos estabelecidos, depende da multiplicação de perfilhos e touceiras para ocupação da área cultivada. Perfilhos distribuídos uniformemente na área propiciam maior aquisição de carbono relativamente a perfilhos localizados em touceiras grandes e distantes umas das outras (RYEL et al., 1994). Da mesma forma, o desenvolvimento horizontal das touceiras (tamanho) aumenta o auto sombreamento, elevando a morte de perfilhos situados na porção central e estimulando o perfilhamento na porção periférica das touceiras (CASTILHO et al., 2003). Desse modo, pode-se inferir que o desenvolvimento das touceiras e o padrão de variação na estrutura horizontal do pasto são dependentes da disponibilidade e da qualidade da luz disponível.

A variação da RFA presente nos diferentes regimes de luz alterou os padrões de ocupação horizontal da área pelos pastos de capim-piatã. O aumento do nível de sombreamento ocasionado pelos regimes S1 e S2 e pelas faixas de sombra (central e lateral) resultou em diminuição do perímetro das touceiras (Figura 13).

Figura 13 - Relação entre perímetro médio de touceiras (cm) e transmitância da RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF.

Além do efeito relatado acima, a análise ao longo do tempo demonstrou que os valores de perímetro médio de touceiras registrados para o regime PS se mantiveram mais estáveis relativamente aos regimes S1 e S2 (Tabela 6). Essa maior variação observada em S1 e S2 deve ser inerente e frequente em áreas com presença de sombreamento por árvores, pois a mudança da inclinação solar, aliada ao crescimento das árvores, provoca alteração do ambiente luminoso, forçando adaptação contínua da estrutura do dossel forrageiro para captação de luz.

O valor do perímetro médio de touceiras e suas variações ao longo do ano fornece uma perspectiva da estabilidade do pasto e de como o manejo está afetando sua estrutura e a proporção de espaços vazios na pastagem (PAIVA, 2013). A presença de espaços vazios em áreas de espécies formadoras de touceiras é normal, mas o aumento na proporção de solo descoberto pode estar associado à redução da capacidade produtiva do pasto e, principalmente, possibilitar a entrada de plantas invasoras. Como os pastos de capim-piatã avaliados foram recentemente implantados, não foi observado declínio na produção forrageira em função da presença de plantas invasoras. No entanto, o aumento do nível de sombreamento ocasionado pelos regimes S1 e S2 e pelas faixas de sombra central e lateral aumentou a frequência de espaços vazios (Tabela 7; Figura 14). Mesmo que a ocorrência de espaços vazios tenha diminuído no terceiro período de avaliação, o fato indica que pastos sombreados são mais sujeitos à infestação por plantas

indesejáveis por possuírem touceiras menores e mais espaçadas, com consequente menor cobertura do solo.

Figura 15 - Relação entre frequência de touceiras com perímetro entre 1 e 30 cm e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF.

Figura 16 - Relação entre frequência de touceiras com perímetro maior que 61 cm e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF.

A amplitude de variação observada na frequência de touceiras com perímetro maior que 61 cm e menor que 30 cm entre os regimes de luz não seguiu o mesmo padrão para touceiras de tamanho intermediário (31-60 cm), as quais apresentaram as menores variações entre regimes de luz e períodos de avaliação (Tabela 5 e 6). No entanto, os valores registrados do período 1 aos períodos 2 e 3 na faixa lateral do regime S2 revelaram diminuição de 42% na frequência dessa classe de touceiras, reforçando o que foi discutido anteriormente em relação à maior presença de touceiras de menor tamanho em pastos sombreados. Touceiras excessivamente grandes ou excessivamente pequenas estão relacionadas com

extremos indesejáveis de manejo caracterizados pelo sub e pelo super-pastejo, respectivamente, condições que devem ser evitadas para se diminuir o risco de colapso da população de plantas e início de processo de degradação da pastagem (DA SILVA et al., 2008). Lopes (2006) observou que pastos de capim-mombaça conduzidos incorretamente por um longo período de tempo (períodos de descanso excessivamente longos), ao serem submetidos a manejo adequado, caracterizado pela meta pré-pastejo de 95% de IL, passaram por um período de adaptação da estrutura vertical e horizontal. Ao longo desse período a frequência de espaços vazios assim como de touceiras grandes e pequenas diminuiu. Ao final do período de adaptação, os pastos se estabilizaram apresentando uma estrutura horizontal caracterizada por maior frequência de touceiras de tamanho intermediário. Isso demonstra que pastos adequadamente manejados possuem elevada proporção de touceiras medianas e menor proporção de touceiras situadas em valores extremos. A estrutura horizontal dos pastos submetidos aos regimes PS e S1 variou pouco ao longo do período experimental e, da mesma forma como descrito para o capim-mombaça por Lopes (2006), houve predominância de touceiras de tamanho intermediário (Figura 17).

Figura 17 - Relação entre frequência de touceiras com perímetro entre 31 e 60 cm e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF.

Não foram observadas variações expressivas entre os métodos de avaliação de IL testados. De forma geral, maiores valores de intervalo de pastejo, massa de forragem e altura do dossel forrageiro ocorreram quando a leitura de referência para avaliação da IL foi tomada dentro relativamente a fora da área experimental. Nessa condição, seria esperado que ocorresse variação na estrutura horizontal dos pastos

em função do maior auto sombreamento ocasionado pelo maior intervalo de pastejo e massa de forragem pré-pastejo. No entanto, em áreas de ILPF as variações em quantidade e qualidade de luz causadas pelo dossel arbóreo parecem ser os fatores determinantes da disposição e do tamanho das touceiras.

7.3 Dinâmica do perfilhamento

Plantas cultivadas sob condições de sombreamento são irradiadas por luz constituída de comprimentos de onda com menor proporção de azul e maior proporção de vermelho distante, fato que altera a estrutura do fitocromo e desencadeia diversos processos metabólicos relacionados com esse tipo de ambiente (BALLARÉ, 1999). Dentre as características afetadas pela qualidade da luz, a redução no perfilhamento tem importância singular por ser essa a via mais efetiva das plantas para responder e se adaptar a condições contrastantes de manejo e de ambiente (FRANK; HOFMAN, 1994; NABINGER; PONTES, 2001). Esses processos parecem ter ocorrido nas áreas submetidas aos maiores níveis de sombreamento ocasionado pelos regimes de luz (S1 e S2) e pelas faixas de sombra (central e lateral) avaliados. A densidade populacional de perfilhos na faixa central do regime S2 correspondeu a 70% daquela registrada no regime PS. Para as faixas de sombra, a densidade populacional na faixa lateral de S1 foi 18% menor que na faixa lateral de S2, e na faixa lateral de S1 os valores corresponderam a 79% daqueles registrados na faixa central (Tabela 10). De forma geral, a densidade populacional de perfilhos apresentou relação linear positiva com a transmitância da RFA, indicando forte influência do nível de sombreamento sobre a população de plantas na área (Figura 18). Os valores de densidade populacional de perfilhos para o regime S2 durante o período 3 foram bastante reduzidos relativamente às demais condições avaliadas (regime de luz x faixa de sombra x período de avaliação). O fato se deve à baixa disponibilidade de RFA (19,9 e 29,0% para as faixas central e lateral relativamente ao regime PS) ocasionada pela maior densidade de árvores e pela inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol naquela época do ano.

Figura 18 - Relação entre densidade populacional de perfilhos e transmitância da RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Ao longo do período experimental os menores valores de densidade populacional de perfilhos foram registrados no período 3 para todos os regimes de luz. Pastos sombreados normalmente apresentam menor evapotranspiração e poderiam se beneficiar desse fato para manter a produção de forragem durante períodos prolongados de restrição hídrica em função da maior sobrevivência de perfilhos. No entanto, essa vantagem é contrabalançada pela diminuição na relação raiz:parte aérea que, associada com a competição por água pelas raízes das árvores, acaba tamponando os efeitos positivos sobre a evapotranspiração (FELDHAK, 2009; DIAS-FILHO; CHAGAS JÚNIOR, 2000). Isso pode ser constatado pela análise conjunta dos dados ao longo do período experimental, onde os pastos sombreados (S2, principalmente) apresentaram diminuição contínua da taxa de aparecimento e estabilidade da taxa de mortalidade de perfilhos entre os períodos 1 e 3. Como consequência, os valores de índices de estabilidade da população de perfilhos para o período 3 foram menores nos pastos submetidos aos maiores níveis de sombreamento (S2 e faixa lateral de S1; Tabela 9).

A população de perfilhos é resultado do balanço entre os processos de aparecimento e morte de perfilhos. Essas duas variáveis podem ser estudadas conjuntamente através do índice de estabilidade da população de perfilhos. Desse modo, o menor índice de estabilidade verificado na faixa lateral do regime S2 é consequência da menor taxa de aparecimento e manutenção das taxas de mortalidade de perfilhos relativamente aos demais regimes de luz. Desmembrando

os valores de regime de luz nos períodos de avaliação, verifica-se que os menores valores (inferiores a 1) foram registrados para a faixa lateral do regime S2. Além disso, o regime S2 (faixas central e lateral) apresentou valores abaixo de 0,9 já a partir do período 2, o que não foi observado para os demais regimes. Como relatado, a qualidade e a quantidade de luz afetam diretamente o perfilhamento. Em áreas de ILPF os pastos estão sob variação contínua na quantidade de luz disponível e desta forma são esperadas maiores variações sazonais na estabilidade da população de perfilhos (Tabela 9), fato que explica a diminuição na taxa de aparecimento e no índice de estabilidade da população de perfilhos.

A densidade populacional de perfilhos possui relação inversa com o tamanho dos mesmos (MATTHEW et al., 1995; SBRISSIA; DA SILVA, 2008). Dessa forma, a variação em tamanho (massa) dos perfilhos detectada entre os métodos de avaliação de IL são explicadas pelo maior intervalo de pastejo dos pastos quando a leitura de referência de IL foi tomada dentro da área experimental. A mesma explicação se aplica para o menor valor de massa de perfilhos obtido para a faixa lateral relativamente à central do regime S1. Partindo do pressuposto que o crescimento dos perfilhos foi menor nas áreas sombreadas, era de se esperar que a massa dos perfilhos presentes na faixa lateral do regime S1 fosse menor que os perfilhos que cresceram com maior disponibilidade de luz na faixa central, sendo que a IL era tomada em todo o piquete e a faixa lateral correspondia apenas a 16% da área útil. Contudo, para uma mesma massa de perfilhos, os pastos expostos à sombra apresentaram densidade populacional inferior àquela de pastos cultivados em pleno sol (Tabela 10). Essa relação demonstra como pastos em regime de sombra se adaptam para captação de luz, diminuindo o perfilhamento e espaçando os perfilhos (maiores) em crescimento como forma de maximizar a captação de luz.

7.4 Morfogênese e características estruturais dos perfilhos

A produção de forragem de um pasto é função do número de perfilhos por unidade de área (densidade populacional) e da produção por perfilho, consequência do crescimento individual dos mesmos. Os perfilhos são unidades compostas por fitômeros (formados por lâmina e bainha foliar, nó e entre nó e gema axilar) e, dessa forma, o hábito de crescimento e de ocupação da área pela planta é dependente do desenvolvimento em número e distribuição destes na área. Pastos manejados em

pleno sol passam por variações na quantidade e qualidade da luz que chega à base das touceiras. Por ocasião do pastejo, parte das folhas é removida, permitindo a entrada de luz no interior do dossel forrageiro com espectro igual ou muito parecido com aquele disponível no topo das touceiras. Em pastos sombreados por árvores, a luz incidente é previamente filtrada pelo dossel arbóreo e, dessa forma, além da menor quantidade de luz disponível, a luz incidente para as plantas forrageiras no sub-bosque possui espectro diferente daquele de pastos crescendo em pleno sol (FELDHAKÉ et al., 2005; VARELLA et al., 2011). Como consequência, do início ao final do período de rebrotação o crescimento de perfilhos é direcionado para maximizar a captação de luz, processo intermediado principalmente pelas reações fisiológicas desencadeadas pelos fitocromos (BALLARÉ, 1999). Esse padrão de crescimento foi observado neste experimento e foi caracterizado por alterações nas taxas de crescimento e no tamanho de componentes morfológicos dos perfilhos nas áreas submetidas aos regimes S1 e S2 relativamente ao PS (Tabelas 13 e 17). Algumas variáveis analisadas apresentaram resposta linear às variações em transmitância (TAIC, NFSen, comprimento final de folhas e colmo, área específica de folha e do colmo). Outras apresentaram variações apenas quando os níveis de sombra foram elevados (TApF e TAIF). Este é o caso da taxa de aparecimento foliar (TApF), que diminuiu com o sombreamento apenas quando o nível de sombra foi elevado (regime S2, faixa lateral; Tabela 13). Esta variável é dependente da disponibilidade de luz e da soma térmica acumulada, características que foram alteradas pelos regimes S1 e S2 e que podem ter ocasionado a redução em aparecimento foliar.

Efeitos mais evidentes do sombreamento (diminuição da transmitância de luz) foram observados para a taxa de alongamento de folhas (TAIF) e de colmos (TAIC; Figura 19), com valores de maior magnitude na TAIC. O fato, associado a valores semelhantes de IAF pré-pastejo para os regimes PS, S1 e S2, deve ter resultado em maior espaçamento entre folhas no perfil vertical do dossel forrageiro, diminuindo o sombreamento entre elas. No caso das faixas de sombra, apesar da redução em RFA nas faixas laterais em função da maior proximidade das árvores, não houve diferença em TAIC entre as faixas central e lateral no regime S1 (0,038 e lateral 0,087 cm.perfilho⁻¹.dia⁻¹ para central e lateral, respectivamente). O fato de não ter sido verificada diferença estatística com grande variação nos valores registrados pode ser explicado pelo motivo de que os regimes S1 e S2 possuíam uma faixa

central e duas laterais (norte e sul). Na análise efetuada, os dados das duas faixas laterais foram combinados, utilizando-se a média entre as duas. Como essas faixas recebem diferentes quantidades de luz ao longo do ano, e como o alongamento de colmos foi altamente responsivo às variações em RFA, as diferenças em TAIC entre as duas faixas elevou o erro padrão da média para o regime S1 ($EPM = 0,023$), fazendo com que o valor para obtenção de diferença entre médias ficasse muito alto. Pode-se observar que a TAIC apresentou um padrão contínuo de aumento nos valores em resposta à diminuição em transmitância de RFA criadas pelos regimes de luz, faixas de sombra e períodos de avaliação (Figura 19), fato indicativo de que a faixa de sombra lateral apresentou maior TAIC que a faixa central no regime S1.

Figura 19 - Relação entre taxa de alongamento de folhas (TAIF) e de colmos (TAIC) e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Como resultado da relativa estabilidade em TApF, e maior TAIF e TAIC, as folhas e os colmos dos perfilhos nos regimes S1 e S2 foram mais compridos, com diferenças mais expressivas para os colmos (Tabela 17). Adicionalmente, folhas e colmos produzidos sob condições de sombreamento apresentaram maior área específica, principalmente as folhas (Figuras 20 e 21). O fato é consistente com respostas adaptativas das plantas à sombra, corroborando os resultados de uma série de trabalhos em que o efeito da sombra foi avaliado sobre o crescimento e a produção de forragem de plantas forrageiras (CASTRO et al., 1999; CAVAGNARO et al., 2007; GARCEZ NETO et al., 2010; PACIULLO et al., 2008, 2011c).

Figura 20 - Relação entre área específica de folha e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Figura 21 – Relação entre área específica de colmo e transmitância de RFA em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

A maior área específica e o maior comprimento dos colmos indica que sob sombreamento as plantas investiram em aumento em altura como forma de posicionar as folhas mais próximas da luz no topo do dossel forrageiro, condição conhecida como estiolamento. Adicionalmente, maior área específica de folhas e colmos indica menor investimento em resistência estrutural e maior investimento em captação de luz. O fato, associado a folhas e colmos mais longos, predispõe os pastos ao acamamento. Esses resultados são consistentes com o menor ângulo da folhagem (arquitetura mais horizontal) registrados nos regimes S1 e S2 e faixas de

sombra em experimento concomitante na mesma área experimental (MASCHERONI, 2015). Folhas de plantas em crescimento com alta irradiação de luz são mais espessas e possuem células do parênquima paliádico mais longas em relação a folhas crescendo em ambientes sombreados (TAIZ; ZEIGER, 2004). Isso favorece a captação de alta quantidade de luz em ambientes sem restrição de luz, aumentando a habilidade competitiva das plantas (WHATLEY; WHATLEY, 1982). A captação de luz em folhas sombreadas não é favorecida por camadas sobrepostas de células, mas sim pela dispersão das mesmas, condição gerada por meio do aumento em comprimento e diminuição da largura das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2004). A diminuição nos valores de área específica de folhas observada ao longo dos três períodos de avaliação evidencia a restrição hídrica que ocorreu ao longo do período experimental, desfavorecendo a turgescência e expansão das células e, dessa forma, concentrando a massa seca por unidade de área foliar.

Variações qualitativas do ambiente luminoso são detectadas pelas plantas antes mesmo que variações quantitativas ocorram (BALLARÉ, 1999), resultando em alterações de seu padrão morfogênico (PACIULLO et al., 2008). Nesse contexto, a relação entre os comprimentos de onda vermelho e vermelho-distante (R:FR) assume papel determinante (VARELLA et al., 2011). O baixo nível de sombreamento observado na faixa central do regime S1 (12% de redução em RFA relativamente ao regime PS) provavelmente não foi suficiente para alterar significativamente a relação R:FR relativamente ao regime PS, razão pela qual não houve diferenças para as respostas morfogênicas avaliadas entre o regime PS e a faixa central do regime S1.

O número de folhas senescentes foi maior na faixa de sombra lateral do regime S1 e para ambas as faixas no regime de luz S2 (central e lateral). No entanto, as taxas de senescência (em % de senescência.perfilho⁻¹.dia⁻¹) não foram afetadas pelos regimes de luz. Dessa forma é possível que plantas sob efeito de sombreamento diminuam a taxa de senescência por folha para maximizar o aproveitamento da área foliar presente e diminuir o investimento em produção de novos tecidos (Tabela 16).

Em relação às variações observadas ao longo do período experimental, todas as respostas foram influenciadas pelos períodos de avaliação do experimento, com diminuição expressiva dos períodos 1 e 2 para o período 3 (Figura 22). Apesar de não terem sido verificadas interações entre regime de luz e período de avaliação, no período 3 o regime S2 apresentou os maiores valores de TApF, TAIF e os

menores de TSenF (Tabela 14), justificando o maior número de folhas vivas por perfilho. No terceiro período de avaliação foi registrado o menor índice pluviométrico do experimento (Figura 2) e maiores níveis de umidade do solo para o regime S2 relativamente a PS e S1 (MASCHERONI, 2015), indicando que o efeito do sombreamento sobre a umidade do solo disponível no regime S2 possibilitou menor redução no crescimento das plantas relativamente a PS e S1. O fato é indicativo de que plantas sombreadas conseguem manter seus tecidos vivos por maior tempo em períodos secos do ano.

Normalmente, existe uma relação funcional inversa entre TAIF e filocrono (Figura 22), segundo a qual em condições favoráveis de crescimento (representadas pela elevada disponibilidade de RFA e precipitação dos períodos 1 e 2) as plantas apresentam elevados valores de TAIF e pequenos valores de filocrono. Em condições desfavoráveis de crescimento (representadas pela reduzida disponibilidade de RFA e precipitação do período 3) ocorre o inverso, ou seja, baixos valores de TAIF e elevados valores de filocrono. Essa relação foi descrita para capim-marandu (SBRISSIA, 2004) e para o capim-elefante (PEREIRA, 2013) submetidos a estratégias contrastantes de manejo do pastejo em mesma condição de ambiente. Neste experimento a mesma relação foi obtida a partir de níveis de sombra, indicando que estratégias de manejo do pastejo e densidade/arranjo de árvores em sistemas integrados geram efeito semelhante sobre os padrões de crescimento das plantas em função das principais respostas serem desencadeadas pelo efeito da luz. Dessa forma, técnicas e estratégias de manejo da pastagem que controlem o ambiente luminoso de forma direta (integração com árvores) ou indireta (variações em IAF por meio de estratégias de manejo do pastejo) geram respostas de mesma natureza.

Figura 22 – Relação entre taxa de alongamento de folha (TAIF) e Filocrono em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejo sob pastejo rotativo em área de ILPF

As variações verificadas entre os métodos de medição de IL se resumiram no maior comprimento de colmo quando a tomada da leitura de referência para a avaliação da IL foi feita dentro relativamente a fora da área experimental, e no maior comprimento de folha na faixa central quando a leitura foi feita dentro. O maior comprimento de colmo em pastos crescidos em pleno sol está normalmente associado com auto sombreamento e aumento das taxas de senescência e alongamento de colmo (DA SILVA et al., 2009). Esse comportamento não foi observado neste experimento, pois o maior comprimento de colmo não foi acompanhado por aumento das taxas de alongamento desse componente morfológico e nem de senescência foliar entre os diferentes métodos. Assim, pode-se inferir que a variação na quantidade e qualidade de luz provocada pelas árvores gerou alterações na estrutura do dossel forrageiro que propiciaram penetração de luz em quantidade mínima suficiente para manter vivos os tecidos vegetais e que as alterações fisiológicas que aumentam as taxas de alongamento de colmo não foram reforçadas pelo possível aumento dos níveis de sombreamento. Desse modo, as variações observadas entre os métodos se devem principalmente ao maior número de dias de rebrotação (intervalo de pastejo) para o método “dentro”, possibilitando maior tempo de alongamento de colmos e, conseqüentemente, maior comprimento de colmos e folhas.

7.5 Considerações finais

Diferentes arranjos e densidades de árvores em sistemas de ILPF alteram a quantidade e qualidade de luz disponível para o sub-bosque. Mesmo que a área ocupada pelos renques de árvores seja pequena em relação à área disponível para lavoura/pecuária, a inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol e o porte elevado das árvores resultam em sombreamento muito além do perímetro ocupado pelo dossel arbóreo em certas épocas do ano. Como resultado da alteração na quantidade e qualidade da luz incidente, pastos sombreados desencadeiam estratégias distintas de crescimento e ocupação horizontal da área relativamente a pastos cultivados em pleno sol. Dentre as principais alterações na estrutura vertical e horizontal de pastos sombreados estão a diminuição da densidade populacional de perfilhos, diminuição do perímetro médio e aumento do espaçamento entre touceiras (aumento da proporção de espaços vazios) e aumento do tamanho dos componentes folha e colmo. Essas variações são seguidas de aumento em área específica de ambos os componentes morfológicos, o que resulta na ausência de variação na massa dos perfilhos sob diferentes regimes de luz (sol/sombra) apesar do maior tamanho de perfilhos em pastos sombreados. Esse conjunto de características indica que as plantas sombreadas priorizaram o aumento da área foliar por perfilho ao invés do aumento em número de perfilhos por unidade de área (densidade populacional) como forma de aumentar a captação de luz e minimizar o auto sombreamento (perfilhos com folhas e colmos mais longos, delgados e espaçados - estiolamento). Esse comportamento não é diferente daquele de plantas cultivadas em pleno sol em fase avançada de rebrotação, com elevada altura e massa de forragem (e.g. longos períodos de descanso) (PEREIRA et al., 2014), o fator incomum é que a alteração na qualidade da luz provocada pelas folhas das árvores induz os pastos a mudar sua estrutura para maior captação de luz do início ao final do período de rebrotação. Pereira et al. (2014), em trabalho com capim-elefante cv. Napier, demonstraram que apesar de efetivas para aumentar a captação de luz, essas variações morfológicas e estruturais das plantas podem gerar menor estabilidade da população, particularmente em função da redução em aparecimento relativamente à sobrevivência de perfilhos, aumentando a suscetibilidade da comunidade de plantas à invasão por plantas daninhas e erosão. Portanto, as respostas de plantas forrageiras em pastagens são mediadas e determinadas pela

luz, sendo a magnitude e a velocidade dos processos determinadas pelas variações nos demais fatores abióticos e manejo. O fato realça a importância de se conhecer as respostas das plantas a variações em ambiente luminoso como forma de idealizar e adequar práticas de manejo do pasto e da pastagem, uma vez que delas depende a formação da estrutura do dossel forrageiro, ponto de origem e de convergência das respostas de plantas e animais em pastagens (HODGSON, 1985).

A avaliação dos diferentes métodos de tomada da leitura de referência para avaliação de IL e as variações associadas encontradas (tamanho de colmos e folhas) demonstraram que pastos em regimes de sombreamento intenso (próximo a 50%) não alteraram as taxas de perfilhamento ou de alongamento de folhas e colmos em função do maior auto sombreamento. O provável motivo disso é que, sob altos níveis de sombreamento, a modificação na qualidade da luz (menor relação R:FR provocada pelas folhas das árvores) apresenta importância relativa maior que modificações na quantidade da luz na determinação dos principais processos de adaptação da estrutura do dossel forrageiro à captação de luz.

As respostas das plantas em relação a níveis de RFA crescendo em pleno sol e sob sombra (diferentes níveis) seguem um *continuum* de variação, destacando a importância e a utilidade das informações e conhecimento gerado em experimentos conduzidos em pleno sol para a compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento de plantas forrageiras submetidas a sombreamento.

8 CONCLUSÕES

- Em sistemas adensados de árvores o sombreamento afeta de forma intensa a estrutura horizontal e vertical do pasto em toda área cultivada, comprometendo diretamente a população de plantas e promovendo alongamento de colmos, enquanto que em sistemas pouco adensados os efeitos do sombreamento são pronunciados principalmente sobre a área efetivamente sombreada pelas árvores;
- As interações entre população de perfilhos e crescimento por perfilho em pastos sombreados relativamente a pastos cultivados em pleno sol demonstram respostas plásticas do capim-piatã para manter elevada captação de luz com menor densidade de plantas, sendo estas respostas menos eficazes na presença de sombreamento severo;
- Assim como em pastos cultivados em pleno sol, espécies forrageiras em sistemas integrados possuem a morfogênese e a estrutura vertical e horizontal do dossel afetadas pela disponibilidade e qualidade de luz incidente, sendo a luz o fator determinante para adoção de práticas de manejo do pastejo adequadas.
- A tomada de leitura de referência para determinação da IL fora da área experimental diminui, mas não elimina, os efeitos de sombreamento sobre o crescimento do capim-piatã, demonstrando que metas de alturas estabelecidas para plantas forrageiras cultivadas em pleno sol não devem ser utilizadas em sistemas sombreados, mas sim, metas específicas de manejo devem ser geradas para o adequado manejo do pastejo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.L. de; MUNDSTOCK, C.M. A qualidade da luz afeta o afilhamento em plantas de trigo, quando cultivadas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.401-408, 2001.

ANDRADE, C.M.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C.; VAZ, F.A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.3, p.263-270, 2004.

ARAÚJO FILHO, J.A.; CAMPANHA, M.M.; FRANÇA, F.M.C.F.; SILVAN, N.L.S. da; SOUSA NETO, J.M. Sistema de Produção Agrossilvipastoil no Semiárido do Ceará. IN: 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions, 2010, Fortaleza, Brasil. **Sistema de Produção Agrossilvipastoil no Semiárido do Ceará**. 2010. 17p.

BAHMANI, I. **Tiller dynamics and leaf growth processes of the perennial ryegrass cultivars 'ellett' and 'grasslands ruanui' as influenced by environmental factors**. 1999. 257p. Tese (Doutorado em fisiologia vegetal) – Institute of Natural Resources, Massey University, Palmerston North, Nova Zelândia, 1999.

BALLARÉ, C.L. Keeping up with the neighbours: phytochrome sensing and other signalling mechanisms. **Trend in Plant Science**, Sitges-Spain, v.4, n.3, p 1360-1385, 1999.

BARRO, R.S.; VARELLA, A.C.; LEMAIRE, G.; MEDEIROS, R.B.; SAIBRO, J.C.; NABINGER, C.; BANGEL, F.V.; CARASSAI, I.J. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 7, p. 1589-1597, 2012.

BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório estatístico 2007/2008**. São Paulo, 2009. 56p. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2007.pdf>. Acesso em: 12 jan.2012.

BRASIL. Decreto n.7.390, de 9 de dezembro de 2010. Que institui a política nacional sobre mudança do clima – PNMC, e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, Diário Oficial, Brasília, p. 4, 10 de dez de 2010

BRASIL. Lei n. 12.805, de 29 de abril de 2013. Que institui a política nacional de integração lavoura-pecuária-floresta. Diário Oficial, Brasília, p.1, 29 de abril de 2013.

CABRAL, C.H.A.; BAUER, M.O.; CABRAL, C.E.A. Influência das características anatômicas e estruturais do dossel forrageiro no consumo de ruminantes. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 680-693, 2011.

CAETANO, L.P.S.; DIAS-FILHO, M.B. Responses of six *Brachiaria* spp. accessions to root zone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.

CAMINHA, F.O.; SILVA, S.C.; PAIVA, A.J.; PEREIRA, L.E.T.; MESQUITA, P.; GUARDA, V.D. Estabilidade da população de perfilhos de capim - marandu sob lotação contínua e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 213-220, fev. 2010.

CARVALHO, P.C.F.; DA TRINDADE, J.K.; DA SILVA, S.C.; BREMM, C.; MEZZARIA, J.C.; NABINGER, C.; AMARAL, M.F.; CARASSAI, I.J.; MARTINS, R.S.; GENRO, T.C.M.; GONÇALVES, E.N.; AMARAL, G.A.; GONDA, H.L.; POLI, C.H.E.C.; SANTOS, D.T.; Consumo de forragem por animais em pastejo: analogias e simulações em pastejo rotativo. In: Simpósio sobre manejo da pastagem – Intensificação de sistemas de produção animal em pastos. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2009. p.61-93.

CASTILHO, J.M.; RUBIO-CASAL, A.E.; LUQUE, T.; FIGUEROA, M.E.; JIMÉNEZ-NIEVA, F.J. Intratussock tiller distribution and biomass of *Spartina densiflora* Brongn. in a invaded salt marsh. **Lagascalia**, Sevilla, v. 23, p. 61-73, 2003.

CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 919-927, 1999.

CAVAGNARO, J.B.; TRIONE, S.O. Physiological, morphological and biochemical responses to shade of *Trichoris crinite*, a forage grass from the arid zone of Argentina. **Journal of Arid Environments**, Amsterdã, v. 68, n. 3, p. 337-347, 2007.

CUBBAGE, F.; BALMELLI, G.; BUSSONI, A.; NOELLEMAYER, E.; PACHAS, A. N.; FASSOLA, H.; COLCOMBET, L.; ROSSNER, B.; FREY, G.; DUBE, F.; LOPES DE SILVA, M.; STEVENSON, H.; HAMILTON, J.; HUBBARD, W. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. **Agroforestry Systems**, Dordrecht ,v. 86, p. 303–314, Feb. 2012.

DA SILVA, S.C. ; CARVALHO, P.C.F. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. In: MCGILLOWAY, D.A. (Org.). GRASSLAND: A GLOBAL RESOURCE. 2005, **Anais...** Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005. p.81-95.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JR., D. do. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 121-138, 2007.

DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JR, D. do; SBRISSIA, A.F.; PEREIRA, L.E.T. Dinâmica de população de plantas forrageiras em pastagens. In: IV SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, n. 4, 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Suprema gráfica editora Ltda, 2008, p. 75-99.

DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; CARNEVALLI, R.A.; UBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G.C.; MORAIS, J.P.G. Swards structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 8-19, 2009.

DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C.A.M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agroflorestais no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.3, p.367-370, 1999.

DAVIES, A. The regrowth of grass swards. In: JONES M.B.; LAZEMBY A. (Ed.). **The grass crop: The physiological basis of production**. London:Chapman and Hall, 1988. p.85-127.

DEBRUYNE, S.A.; FELDHAKE, C.M.; BURGER, J.A.; FIKE, J.H. Tree effects on forage growth and soil water in na Appalachian silvopasture. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.83, p.189-200, 2011.

DIAS, F.P.; SOUTO S.M.; CORREIA, M.E.F.; ROCHA, G.P.; MOREIRA, J.F.; MOREIRA, J.F.; RODRIGUEZ, K.M.; FRANCO, A.A. Árvores fixadoras de nitrogênio e macrofauna do solo em pastagens de híbrido de *Digitaria*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1015-1021, 2006.

DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; RESENDE, A.S.; URQUIAGA, S.; ROCHA, G.P.; MOREIRA, J.F.; FRANCO, A.A. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim Survenola crescido em consórcio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 352-356, mar-abr. 2007.

DIAS, F.P.; SOUTO S.M.; AZEVEDO, B.C.; VIEIRA, M.S.; COLOMBARI, A.A.; DIAS, J. FRANCO, A.A. Estabelecimento de leguminosas arbóreas em pastos de capim-marandu e tanzânia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.10, p.1413-1419, 2008.

DIAS-FILHO, M.B.; CHAGAS JÚNIOR, A.F. Growth, biomass allocation and photosynthesis of *Rolandra fruticosa* (asteraceae) in response to shade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 18, n. 1, p. 71-78, 2000.

DIAS-FILHO, M.B. Photosynthetic light response of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 65-68, 2002.

DIAS-FILHO, M.B.; FERREIRA, J.N. Barreiras para a adoção de sistemas silvipastoris. In: EVANGELISTA, A.R. SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 2007. Lavras. **Anais: NEFOR:UFLA**, Lavras, 2007. p. 347-365.

DULORMNE, M.; SIERRA, J.; BONHOMME, R.; CABIDOCHÉ, Y.M. Seasonal changes in tree–grass complementarity and competition for water in a subhumid tropical silvopastoral system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 21, p. 311–322, 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Capim Piatã**. Disponível em: <http://www.cnpqg.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/piata.pdf> Acesso em: 04 jan. 2015.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B.; BARBOSA, R.A.; GONÇALVES, W.V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, dez. 2008.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B.; DIFANTE, G.S.; BARBOSA, R.A.; CACERE, E.R. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 98-106, jan. 2009.

FELDHAKKE, C.M.; NEEL, J.P.S.; BELESKY, D.P.; MATHIAS, E.L. Light measurement methods related to forage yield in a grazed northern conifer silvopasture in the Appalachian region of eastern USA. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 65, p. 231-239, 2005.

FELDHAKKE, C.M. Forage evapotranspiration and photosynthetically active radiation interception in proximity to deciduous trees. **Agriculture Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 7, p. 1170-1174, 2009.

FERREIRA, M.C.; SOUZA, J.R.P.; FARIA, T.J.; Potenciação alelopática de extratos vegetais na germinação e no crescimento inicial de picão-preto e alface. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n. 4. p 1054-1060, 2007.

FERREIRA, R.A.; ESTRADA, L.H.C.; THIEBAUT, J.T.L.; GRANADOS, L.B.C.; SOUZA JUNIOR, V.R. Avaliação do comportamento de ovinos Santa Inês em sistema silvipastoril no norte fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n. 2, p 399-403, 2011.

FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C.; BREMM, C.; FILHO, R.S.A.; GONDA, H.L.; CARVALHO, P.C.F. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. **Livestock Science**, Hoklahoma, v. 145, n. 2, p. 205-211, 2012.

FRANK, A.B.; HOFMAN, L. Light quality and stem numbers in cool-season forage grasses. **Crop Science**, Madison, v.34, n.2, p.468- 473, 1994.

FREIRE, J.L.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B; LIRA, M.A.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, M.V.F., FREITAS, E.V.. Decomposição de serapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.8, p.1659-1665, 2010

FREITAS, E.C.S.; OLIVEIRA NETO, S.N.; FONSECA, D.M.; 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**, Viçosa, v. 37, p. 409-417, 2013.

GARCEZ NETO, A.F.; GARCIA, R.; MOOT, D.J.; GOBBI, K.F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.1, p. 42-50, 2010.

GARCIA, A.R.; MATOS, L.B.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; NAHÚM, B.S.; ARAÚJO, C.V.; SANTOS, A.X. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1409-1414, out. 2011.

HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., Kyoto, 1985. **Proceedings...** Nishi-Nasuno: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p.63-67.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. New York: John Wiley; Longman Scientific and Technical, Longman, 1990. 203p.

JORDAN, E.R. Effects of heat stress on reproduction. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.86, p. 104-114, 2003

KALLENBACH, R.L.; VENABLE, E.B.; KERLEY, M.S.; BAILEY, N.J. Stockpiled tall fescue and livestock performance in an early stage midwest silvopasture system. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 80, p. 379–384, 2010.

KENWARD, M.G.; ROGERS, J.H. Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. **Biometrics**, Malden, v. 53, p. 983-997, 1997.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford, CAB International, 1996. p.3-36.

LEME, T.M.S.P.; PIRES, M.F.A.; VERNEQUE, R.S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.3, p. 668-675, 2005.

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.

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 269–281, 2001.

LITTEL, R.C.; PENDERGAST J.; NATARAJAN R.; Modelling Covariance Structure in the Analysis of Repeated Measures Data. **Statistics in Medicine**, Malden, v. 19, , p. 1793-1819, 2000.

LOPES, B.A. **Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem em capim-mombaça submetido a regimes de desfolhação**. 2006. 188p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

LUSTOSA, A.A.S. Sistema silvipastoril – propostas e desafios. **Revista Eletrônica Lato Sensu**, Guarapuava, v.3, n.1, 22 p. 2008.

MATTHEW, C.; LEMAIRE, G.; HAMILTON, N.R.S.; HERNÁNDEZ-GARAY, A.H.A. Modified self-thinning equation to describe size/density relationship for defoliated swards. **Annals of Botany**, Oxford, v. 76, n. 6, p. 579-587, 1995.

MACIEL, M.N.M.; WATZLAWICK, L.F.; SCHOENINGER, E.R.; YAMAJI, F.M. Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 101-114, 2002.

MARQUES, L.C.T. **Comportamento inicial de Paricá, Tatajuba e Eucalipto, em plantio consorciado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará**. Tese de (Mestrado Ciência Florestal) . Viçosa: UFV, 1990. 92p.

MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; LAURA, V.A.; CUNHA, D.N.F.V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009.

MASCHERONI J.D.C. **Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem em capim-piatã submetido a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta**. p. 90. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 90 p. 2015.

MELOTTO, A.; NICODEMO, M.L.; BOCCHESI, R.A.; LAURA, V.A.; GONTIJO NETO, M.M.; SCHLEDER, D.D.; POTT, A.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil central indicadas para sistemas silvipastoris. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.425-432, 2009.

MOREIRA, G.R.; SALIBA, E.O.S.; MURÍCIO, R.M.; SOUSA, L.F.; FIGUEIREDO, M.P., GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M. Avaliação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas silvipastoris. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 3, p. 706-713, 2009.

MÜLLER, M.D.; NOGUEIRA, G.S.; CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.F.; CASTRO, R.V.O.; FERNANDES, E.N. Economic analysis of an grosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1148-1153, out. 2011.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38.,2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 2001. p. 755- 770.

NANTES, N.N.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; LEMPP, B.; BARBOSA, R. A.; GOIS, P O. Desempenho animal e características de pastos de capim - piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 114-121, jan. 2013.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C; ROSSIELO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; FERNANDES, P.B.; ROCHA, W.S.D.; MÜLLER, M.D.; ROSSIELLO, R.O.P. Soil bulk and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.5, p. 598-603, 2010.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 141, p. 166–172, 2011a.

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. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1176-1183, out. 2011b.

PACIULLO, D.S.C. FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; SOUZA SOBRINHO, F.; CARVALHO, C.A.B. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.2, p.270-276, 2011c.

PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; MAURÍCIO, R.M.; GOMIDE, C.A.M.; SILVEIRA, S.R. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass–legume pastures shaded by tropical trees. **The Animal Consortium**, Cambridge, v. 8, p. 1264–1271, 2014.

PÁEZ, A.; PÁEZ, P.M.; GONZÁLEZ, M.E.; VERA, A.; RINGELBERG, D.; TSCHAPLINSKI, T.J. Crecimiento, carbohidratos solubles y ácidosgrasos de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) sometida a tres niveles de radiación. **Revista de la Facultad de Agronomía LUZ**, Maracaibo, v. 24, p. 642-660, 2007.

PAIVA, A.J. **Dinâmica da população de perfilhos e de touceiras em capim-elefante cv. Napier submetido a estratégias de pastejo rotativo**. p. 139. Tese (Doutora em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo , Piracicaba, 2013.

PEREIRA, L.E.T. **Dinâmica do crescimento e componentes do acúmulo de forragem capim-elefante cv. Napier submetido a estratégias de pastejo rotativo**. p. 120. Tese (Doutor em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo , Piracicaba, 2013.

PEREIRA, L. E. T.; PAIVA, A. J. ; GEREMIA, E.V. ; DA SILVA, S. C. . Grazing management and tussock distribution in elephant grass. **Grass and Forage Science** (Print), Oxford, p. n/a-n/a, 2014.

PERI, P.L.; VARELLA, A.C.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Cocksfoot and lucerne productivity in a *Pinus radiata* silvopastoral system: a grazed comparison. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, Nova Zelândia, v. 63, p. 139–147, 2001

- PERI, P.L.; MCNEIL, D.L.; MOOT, D.J.; VARELLA, A.C.; LUCAS, R.J. Net photosynthetic rate of cocksfoot leaves under continuous and fluctuating shade conditions in the field. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 57, p. 157–170, 2002a.
- PERI, P.L.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L.; VARELLA, A.C.; LUCAS, R.J. Modelling net photosynthetic rate of field-grown cocksfoot leaves under different nitrogen, water and temperature regimes. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 57, p. 61–71, 2002b.
- PERI, P.L.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L. An integrated model for predicting maximum net photosynthetic rate of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) leaves in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 58, p. 173–183, 2003.
- PERI, P.L.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L. Modelling photosynthetic efficiency (α) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 22, p. 277–292, 2005.
- PERI, P.L.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L. Validation of a canopy photosynthesis model for cocksfoot pastures grown under different light regimes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 67, p. 259–272, 2006.
- PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 70, p. 63–79, 2007.
- PEZZOPANE, C.G.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; ALTOÉ, J.; RIBEIRO, F.A.; VALLE, C.B. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**. ahead of print. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014005030915&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 10 jan. 2015.
- PYSTINA, N.V.; DANILOV, R.A. Influence of light regimes on respiration, activity of alternative respiratory pathway and carbohydrates content in mature leaves of *Ajuga reptans* L. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 3, p. 285–292, 2001.
- ROSSELLE, L.; PERMENTIER, L.; VERBEKE, G.; DRIESSEN, B.; GEERS, R. Interactions between climatological variables and sheltering behavior of pastoral beef cattle during sunny weather in a temperate climate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 91, p. 943–949, 2012.
- RYEL, R.J.; BEYSCHLAG, W.; CALDWELL, M.M. Light field heterogeneity among tussock grasses: Theoretical considerations of light harvesting and seedling establishment in tussocks and uniform tiller distributions. **Oecologia**, Berlin, v. 98, p. 241–246, 1994.
- SANTOS, F.A.P.; PEDROSO, A.M.P.; MARTINEZ, J.C. Utilização da suplementação com concentrado para vacas em lactação mantidas em pastagens tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA, Piracicaba. 2005. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2005. p.219–294.

SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; ARAUJO, L.C.; PEZZOPANE, J.C.M.; VALLE, C.B.; PEZZOPANE, C.G. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 42, n. 11, p. 767-773, 2013.

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 35-47, 2008.

SBRISSIA, A.F. **Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandusob lotação contínua**. p. 171. Tese (Doutor em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA-PANDO, F.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; ROZADOS-LORENZO, M. J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 56, p. 203–211, 2002.

SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.443-451, 2009.

SOUZA, W.; BARBOSA, O.R.; MARQUES, J.A.; GASPARINO, E.; CECATO, U.; BARBERO, L.M. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 677-684, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VARELLA, A.C.; MOOT, D.J.; POLLOCK, K.M.; PERI, P.L.; LUCAS, R.J. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 81, p. 157–173, 2011.

VERAS, V.S.; OLIVEIRA, M.E.; LACERDA, M.S.B.; CARVALHO, T.B.; ALVES, A. A. Produção de biomassa e estrutura do pasto de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 1, p. 200-207, 2010.

WHATLEY, J.M; WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EDUSP, 1982. 102p.

XAVIER, A.F.; LEDO, F.J. da SILVA; PACIULLO, D.S.C; PIRES, M.F.; BODDEY, R.M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1214-1219, 2011.

XAVIER, D.; LÉDO, F.J.S.; PACIULLO, D.S.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R. M. Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, Dordrecht, v. 99, p. 45-62, May 2014.