

Produção de Bovinos em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária

Paulo César de Faccio **CARVALHO** ⁽¹⁾

Raquel Santiago **BARRO** ⁽²⁾

Laíse da Silveira **PONTES** ⁽³⁾

Vanderlei Porfírio da **SILVA** ⁽⁴⁾

Aníbal de **MORAES** ⁽⁵⁾

A promoção de sistemas produtivos que se adaptem as exigências de produção sustentável passou do discurso utópico para a realidade. Segundo a FAO (2010), novos paradigmas de intensificação sustentável devem convergir para o objetivo de alimentar 9 bilhões de pessoas até o ano de 2050 e basear-se em princípios de redução no uso de insumos, proteção do solo e da água, aumento do sequestro de carbono atmosférico, aumento da biodiversidade e da resiliência dos agroecossistemas.

Sistemas agrícolas, baseados no monocultivo intensivo de espécies agrícolas ou florestais e no manejo inadequado das pastagens, bem como na exploração das florestas naturais, são sócio e economicamente insustentáveis em longo prazo. Assim sendo, a evolução da agricultura necessariamente passa pela retomada da adoção de sistemas multifuncionais, tais como os sistemas integrados de produção de produção agrícola e pecuária, que são planejados para explorar sinergismos e propriedades emergentes de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (Carvalho & Moraes, 2010). Essas interações ocorrem em diferentes escalas espaço-temporais e abrangem cultivos agrícolas e produção animal na mesma área de forma concomitante ou sequencial, entre áreas distintas ou em sucessão (Moraes et al., 2012).

⁽¹⁾ Zootecnista. Dr. Professor da Universidade do Rio Grande do Sul. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Faculdade de Agronomia - UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712 . CEP 91540-000 Porto Alegre, RS. paulocfc@ufrgs.br.

⁽²⁾ Grupo de Pesquisa em Integração-Lavoura-Pecuária. UFRGS.

⁽³⁾ IAPAR/ Grupo de Pesquisa em Integração-Lavoura-Pecuária. UFRGS.

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico. EMBRAPA Floresta.

⁽⁵⁾ Universidade Federal do Paraná. UFPR.

O planejamento ou a intencionalidade de associações é um dos critérios-chave para caracterização e distinção desses sistemas, que devem refletir relações sinérgicas entre componentes (onde o todo é maior do que a soma das partes individuais). Portanto, apenas no caso da integração entre componentes ser adequadamente gerenciada é que o resultado final poderá ser a maior sustentabilidade econômica, ambiental e social (FAO, 2010).

Estes sistemas devem ser também intensivamente administrados para manter suas funções protetivas, produtivas e interativas (Jose, 2009). Com relação aos sistemas integrados que associam árvores, estes aportam muitos aspectos de sustentabilidade por incluírem componente de maior perenidade, por melhor utilizarem os recursos naturais existentes e práticas de manejo que otimizem a produção combinada, e por gerarem numerosos serviços ecossistêmicos (Jose, 2009).

Além do incremento na eficiência de uso da terra, sistemas integrados são capazes de contribuir para o sequestro de carbono, para a menor emissão de óxido nitroso (N₂O) e para a mitigação da emissão de metano (CH₄) pelos ruminantes, ou seja, contribuem com a geração de serviços ambientais. Além do produtor se enquadrar as novas demandas ambientais, a diversidade da produção em sistemas integrados garante condições mais propícias para a sua criação e também suprimento em madeira para uso próprio ou comercial agregando, assim, novas fontes de renda na propriedade rural (FAO, 2010).

Conceitos Universais do Manejo do PASTEJO em Sistemas Integrado

O desempenho individual de ruminantes em pastejo é dependente do consumo e da taxa de conversão do pasto em produto animal. O consumo é dependente da taxa de ingestão, que corresponde à interação entre massa do bocado, taxa de bocados e tempo de pastejo, que são influenciados pela estrutura do pasto disponibilizada (Allden & Whittaker, 1970). Desta forma, independente de se tratar de manejo do pasto em sistemas integrados, com ou sem árvores, deve-se primar por permitir aos animais a formação de bocados de elevada massa e, assim, potencializar a taxa de ingestão. Nesse sentido, o objetivo do manejador é criar no pasto as estruturas que proporcionem os melhores desempenhos e bem-estar animal, sem degradar o ambiente pastoril.

Em sistemas integrados, os fatores ambientais modificados pela presença das árvores, particularmente a redução da radiação solar, têm efeito sobre as características morfofisiológicas dos pastos e, conseqüentemente, sobre a produção e o valor nutritivo da forragem (Kephart & Buxton, 1993; Lin et al., 2001; Barro et al., 2012). Essas, por sua vez, têm reflexo no desempenho animal individual, ou na produtividade do componente pecuário no sistema.

A obtenção de pastagens produtivas em sistemas integrados com a presença de árvores depende da escolha de genótipos forrageiros adaptados, com bom desempenho agrônômico e persistência sob sombreamento. Durante as últimas duas décadas a pesquisa em sistemas integrados com árvores têm concentrado esforços

na busca de genótipos adaptados à condição de sombreamento. Por outro lado, pouco se avançou em relação a recomendações de manejo de pastos em ambiente sombreado. Assim, esta área requer mais investigação e desenvolvimento visando a formação de diretrizes de manejo de forrageiras baseadas nos princípios das alterações morfofisiológicas sofridas pelas forrageiras em resposta à restrição de luz. Associadas essas diretrizes, é fundamental que seja também contemplado o efeito do animal em pastejo, raramente abordado em trabalhos de pesquisa, uma vez que a estrutura do dossel também é definida por este forte fator biótico: o herbívoro, que remove partes das plantas, principalmente folhas, e acaba por afetar o IAF, a densidade populacional de perfilhos e a composição morfológica do dossel forrageiro (Nabinger & Pontes, 2001).

Apesar da pouca disponibilidade de dados científicos sobre o manejo de forrageiras sombreadas, especialmente sob situações reais de pastejo, é possível fazer inferências sobre as modificações que podem ocorrer na estrutura do dossel e relacionar com as expectativas de desempenho animal em sistemas integrados em associação com inúmeras combinações de espécies arbóreas e sob diferentes práticas de manejo florestal.

Previamente à apresentação das discussões (ou inferências) sobre o manejo do pastejo em ambientes sombreados, é necessário que se retome alguns conceitos sobre o manejo em ambiente sob sol pleno, os quais se aplicam a todos os sistemas pastoris, e que se caracterize minimamente as alterações na porção de radiação que incide sobre o dossel forrageiro:

Conceitos Importantes Sobre o Manejo do Pastejo em Condições Homogêneas de Radiação Solar

-A estrutura do pasto é o resultado de dois processos conflitantes: o pastejo e o crescimento das plantas.

- A intensidade do pastejo tem impacto no rebrote e na sobrevivência das plantas devido às variações na quantidade de reservas (glicídios e N) (Fulkerson & Slack, 2003) e nas superfícies foliares fotossinteticamente ativas após a desfolha (Binnie & Chestnutt, 1991).

- O manejo do pastejo pode ser conduzido pelo controle da frequência e da intensidade da desfolhação, combinação esta que afeta a estrutura do dossel (Carnevali et al., 2006; Barbosa et al., 2007).

- Plantas individuais em pastagens estão sujeitas a desfolhação intermitente, cuja intensidade e frequência dependem, principalmente, do tipo de animal, da taxa de lotação e do método de pastoreio empregado (Wade & Carvalho, 2000).

- A frequência de desfolha é definida pelo intervalo entre duas desfolhações sucessivas. Em pastoreio rotativo ela é definida pelo intervalo de descanso empregado, enquanto em pastoreio contínuo ela é indiretamente controlada pela taxa de lotação.

Características Gerais do Ambiente Luminoso em Sistemas Integrados Multiestrata

Em sistemas multiestrata, que associam espécies perenes lenhosas e espécies herbáceas/arbustivas, ocorre heterogeneidade horizontal na quantidade e na qualidade da radiação incidente sobre o estrato inferior, pois ocorre favorecimento do componente arbóreo quanto à captação de radiação por sua maior altura, ficando a produção da vegetação herbácea sujeita a densidade do povoamento florestal e de sua adaptação fisiológica a baixa intensidade luminosa (Veiga & Serrão, 1990).

Muitos trabalhos desenvolvidos a partir da década de 1980 já se concentravam na busca de informações sobre interceptação e uso da radiação em sistemas arborizados (Rao et al., 1998). Alterações na radiação solar incidente em sub-bosques silvipastoris têm sido estudadas por vários grupos de pesquisa no mundo (Bergez et al., 1997; Silva-Pando et al., 2002; Burner & Beleski, 2004; Feldhake et al., 2009; Lacorte & Esquivel, 2009; Varella et al., 2010).

A radiação em ambientes multiestrata apresenta variação espacial diária e sazonal, dependendo principalmente da latitude do local, da exposição do terreno, da espécie florestal e densidade arbórea utilizadas e da nebulosidade (Feldhake et al., 2009). Silva (1998), trabalhando em sistema silvipastoril com 833 árvores/ha de *E. saligna* na EEA/UFRGS, registrou que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) transmitida ao sub-bosque forrageiro aos 10, 17 e 25 meses de idade das árvores foi de 43%, 29% e 17%, respectivamente, em relação a RFA medida sob pleno sol.

Além da redução na quantidade de radiação incidente, ocorrem importantes alterações qualitativas na radiação que atravessa o dossel arbóreo e chega ao nível estrato herbáceo-forrageiro (sub-bosque):

i) Ocorrem alterações na composição espectral da RFA, com filtragem na porção do vermelho (V) e do azul (A), enquanto o vermelho distante (VD) é predominantemente refletido e transmitido ao dossel forrageiro (Krueger apud Jose et al., 2004). Deste modo, a porção da RFA que chega ao dossel forrageiro tem menor razão V:VD;

ii) Em sub-bosques, caracteristicamente há maior intermitência luminosa, ou seja, períodos de luz e sombra alternadas, com a penetração de "flashes" de luz solar direta que atravessam o dossel, o que também ocasiona alterações no ambiente luminoso e na atividade fotossintética das plantas do estrato herbáceo (Peri et al., 2006; Varella et al., 2010);

iii) Ocorre aumento na proporção de radiação difusa em relação à radiação direta em pastagens arborizadas. A luz difusa (multidirecional) tem maior penetração no dossel arbóreo do que a luz direta (que em parte é filtrada). Assim, a radiação difusa passa a ser mais disponível, sendo melhor utilizada pelas plantas do sub-bosque (Wilson & Ludlow, 1990). Esta é uma das causas do aumento da eficiência de uso da RFA (EUR) em forrageiras em sistemas integrados com árvores (Feldhake et al., 2009).

De acordo com a literatura especializada, essas alterações qualitativas na radiação que atingem o estrato herbáceo são responsáveis por respostas morfofisiológicas diferenciadas das plantas crescendo em sub-bosques em comparação com o crescimento em ambiente aberto (pleno sol) (Cruz, 1997; Healey et al., 1998; Varella et al., 2010). Essas adaptações morfológicas das forrageiras sob sombreamento podem ter reflexos diretos sobre a produção de forragem e seu valor nutritivo.

Efeito do Sombreamento Sobre Características Morfofisiológicas de Plantas Forrageiras

Como se afirmou anteriormente, fatores ambientais modificados pela presença das árvores têm efeito sobre características morfofisiológicas e sobre a produção e o valor nutritivo da forragem (Kephart & Buxton, 1993; Lin et al., 2001; Barro et al., 2012). Sob condições de luminosidade plena, o valor nutritivo das plantas forrageiras pode ser alterado por diversos fatores ambientais, edáficos, e por suas próprias características morfofisiológicas, entre as quais se destacam: a idade e o estágio de desenvolvimento, a relação folha/colmo, a relação conteúdo/parede celular, e o teor de clorofila, entre outras. Assim, a morfologia, a anatomia e a composição química da planta, determinam a digestibilidade da matéria seca e o conteúdo de nutrientes da forragem (Kephart & Buxton, 1993; Lin et al. 2001). Por outro lado, sob sombreamento, o valor nutritivo das forrageiras pode ser alterado por meio das adaptações morfológicas e fisiológicas ao ambiente sombreado (Eriksen & Whitney, 1981; Wong, 1990; Allard et al., 1991; Kephart & Buxton, 1992; Kallembach et al., 2006).

De acordo com Lin et al. (1999), todas as plantas respondem fisiológica e morfológicamente à sombra, e isso varia consideravelmente como expressão do seu genótipo. Assim, a aclimação morfológica das plantas ao sombreamento se constitui em uma estratégia adaptativa para compensar, pelo menos parcialmente, menores taxas fotossintéticas por unidade de área foliar. Segundo Cruz (1995), essas alterações ocorrem no sentido de aumentar a eficiência fotossintética.

Na literatura, são referidas principalmente as seguintes alterações morfofisiológicas em resposta ao fator sombra:

i) Maior área foliar média e menor peso específico foliar – são comuns relatos de maiores áreas por lâmina (ou por folíolo) para a maioria das forrageiras cultivadas sob sombreamento, sendo que a magnitude dessa variação é grande (e.g, 13 a 126% para o sombreamento de 50%, e de 19 a 220% para o sombreamento de 80%, Lin et al. 1999). Já o peso específico foliar parece reduzir com o aumento do sombreamento, ou seja, a maior área foliar obtida sob intensidade luminosa reduzida pode ser acompanhada por um decréscimo de 20 a 40% do peso foliar específico (Lin et al. 1999).

ii) Maior densidade de clorofila – O aumento ocorre principalmente com a clorofila b, ocasionando menor relação clorofila a: clorofila b (Taiz & Zeiger, 2004)

iii) Maior relação folha: colmo - Kepharth & Buxton (1992) encontraram menor peso seco de colmos de gramíneas (C3 e C4) em níveis crescentes de sombreamento, embora a relação folha:colmo não tenha apresentado respostas consistentes aos níveis de sombreamento impostos. Samarakoon et al. (1990) encontraram maior relação folha: colmo em gramíneas perenes estivais cultivadas sob sombreamento artificial em relação a pleno sol.

iv) Maior relação parte aérea:raiz – é comum ser relatada maior fragilidade do sistema radicular de diversas forrageiras sob sombra (Fernandez et al.,2002; Belesky et al. 2002), e isto parece estar relacionado a alterações no coeficiente de partição de biomassa das plantas, ou seja, ao maior investimento na área de captação de energia luminosa em detrimento do sistema radicular.

v) Redução no perfilhamento - A redução do número de perfilhos com o aumento dos níveis de sombreamento parece ser quase linear para gramíneas (Keparth & Buxton, 1992; Beleski et al., 2010).

f) Atraso no florescimento - Muitos trabalhos relatam maior duração do período vegetativo em plantas submetidas a sombreamento em comparação com o ambiente sem restrição luminosa (Tiedmann, 1971; Ovalle & Avendaño, 1994; Castro et al., 1997; Carvalho et al., 2002; Congdom, 2003).

g) Alterações na estrutura do dossel - A estrutura do dossel (particularmente o ângulo de inclinação e disposição das folhas no caule), juntamente com o IAF, determinam o coeficiente de extinção da radiação (K), que por sua vez, é fortemente alterado sob sombreamento (Kiniry et al., 1999; Varella et al., 2010).

h) Alterações na atividade fotossintética - A taxa fotossintética, isto é, a quantidade de CO₂ fixado por unidade de área foliar em função do tempo, depende da disponibilidade de radiação solar. Peri (2002) descreveu as taxas fotossintéticas como função da irradiância de fótons, por meio de uma hipérbole não-retangular. Via de regra, plantas que crescem em ambiente sombreado são incapazes de realizar altas taxas de fotossíntese, mas são eficientes em baixas disponibilidades de radiação. Plantas que crescem sob alta radiação, em seus ambientes naturais, têm alta capacidade para realizar fotossíntese e saturam somente em altas disponibilidades de radiação; mas, mostram taxas de fotossíntese menores que as plantas de sombra em baixos níveis de radiação (Boardman, 1977). Porém, de forma geral, o decréscimo na fotossíntese, provocado pelo sombreamento, é maior para as gramíneas tropicais (via C4) e menor para as gramíneas hibernais e leguminosas (via C3) (Boardman, 1977).

i) Maior eficiência de interceptação (ir) e uso (EUR) da radiação solar - A eficiência de interceptação ir corresponde à capacidade que uma população de plantas tem de interceptar a radiação solar que incide sobre a mesma (Monsi apud Radin, 2002). A maior ou menor ir depende da quantidade de radiação incidente, da distribuição da área foliar no tempo (durante o ciclo) e no espaço, das propriedades óticas do dossel e do ângulo das folhas em relação à linha horizontal (Monsi apud Radin, 2002). A eficiência de uso da radiação (EUR) pode ser definida como o incremento em peso seco da parte aérea por unidade de RFA interceptada. Existem dados limitados na literatura sobre EUR das pastagens e de culturas sob baixos níveis de radiação, porém, em geral, ocorrem incrementos da EUR sob baixos níveis de luminosidade, comparado com a condição de pleno sol (Givnish, 1988; Kiniry et al., 1999; Radin et al., 2002; Feldhake et al., 2009; Varella et al., 2010).

j) Valor nutritivo e composição química da forragem - Todas estas características morfológicas, passíveis de alteração em ambiente sombreado, estão ligadas diretamente ao valor nutritivo da forragem. Porém, os efeitos do sombreamento sobre o valor nutritivo da forragem ainda estão por serem conhecidos (Wilson & Wild, 1991; Jackson & Ash, 1998). Há trabalhos que descrevem as seguintes alterações em resposta à sombra: epiderme mais fina, menor espessura de mesófilo, menor proporção de parênquima paliçádico, menor proporção de tecidos de condução e sustentação, menor proporção de parede celular, maior proporção de espaços intercelulares e menor densidade estomática (e.g. Gobbi, 2007).

O sombreamento pode aumentar o conteúdo de N da forragem (Wilson & Wong, 1982) e muitas hipóteses têm sido levantadas no sentido de explicar os efeitos positivos do sombreamento sobre o conteúdo de nitrogênio em gramíneas. De forma geral, o aumento de N sob sombra é atribuído a maior mineralização da matéria orgânica, devido principalmente às condições térmicas e ao status hídrico do solo, mais favoráveis à ação de microrganismos nitrificadores e à redução na produção de biomassa, fato que resultaria em maior concentração do N na planta (Wilson et al., 1990). Assim, uma das principais discussões em relação ao valor nutritivo da forragem tem sido a dinâmica

do nitrogênio na planta sombreada, em comparação com situação em pleno sol. Os efeitos positivos associados ao fator sombra, como a redução da demanda evaporativa atmosférica, e consequente manutenção de maior umidade do solo, têm sido discutidos com frequência. Em vários estudos desenvolvidos na Austrália por Wilson e colaboradores (Wilson & Ludlow, 1991; Wilson & Wild, 1991; Wilson & Wild, 1995; Wilson, 1996), o ambiente sombreado per se é considerado o fator isolado mais crítico, que leva ao que se denomina "efeito-sombra". Estes estudos sugerem que o "efeito-sombra" em gramíneas tropicais ocorre, pois o ganho em fotossíntese líquida é maior do que a perda na atividade fotossintética potencial, quando o nível de luz é reduzido em até 50% e, em geral, isso ocorre sob condições N-limitantes, pois nessas situações a curva de resposta satura-se sob 50% de luz (Wilson & Wild, 1995). Além disso, inúmeros trabalhos comprovam aumento na mineralização da matéria orgânica do solo através do favorecimento da atividade microbiana, por temperaturas adequadas e melhor status hídrico da camada superficial do solo mesmo sob sombra artificial. Assim, a maior disponibilidade de nitrogênio no solo também estaria associada ao estímulo do crescimento de plantas sob sombreamento artificial, em comparação com o pleno sol.

Aplicação dos Conceitos da Intensidade e Frequência de Pastejo em Sistemas Integrados com Componente Arbóreo

Sob pleno sol, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pelo dossel tem sido a variável-controle mais recomendada e estudada para determinação do momento ótimo para a realização da desfolhação em diversas gramíneas forrageiras (Bueno, 2003; Carnevalli, 2003; Barbosa, 2004; Sarmiento, 2007; Trindade et al., 2007). Resultados obtidos em diversos trabalhos indicam que o nível de 95% de interceptação luminosa (IL) pelo dossel forrageiro é o indicador de manejo que resulta nas melhores respostas produtivas dos pastos em diversos aspectos, inclusive na maximização da taxa de acúmulo de forragem, especificamente de folhas. Por exemplo, Trindade et al. (2007), em estudo com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, observaram que pastejos mais frequentes e menos severos (95% de IL e 15 cm de altura pós-corte) proporcionam dietas de melhor qualidade (devido a maior proporção de lâminas foliares) aos animais em pastoreio rotativo, comparado a pastejos menos frequentes e mais severos (pastejo iniciado com 100% de IL e 10 cm de altura pós-corte).

A pesquisa em forragicultura vem, há algum tempo, determinando relações entre a interceptação luminosa e a altura do dossel para diversas espécies forrageiras crescendo sob pleno sol. A altura do dossel é considerada como meta de manejo (Da Silva, 2004), pois é altamente correlacionada com a interceptação luminosa e permite controle criterioso da estrutura do pasto (Hodgson, 1985).

No entanto, as relações acima descritas têm sido estudadas em condições de pleno sol. Isto significa que novos esforços de pesquisa em sistemas integrados devem voltar-se para o estudo dessas relações em ambientes luminosos heterogêneos, tal como ocorre nos sistemas de integração multiestrata (com a presença de árvores). Isto pelo fato de que o sombreamento provocado pelas árvores pode afetar as características morfogênicas e estruturais, conforme discutido anteriormente.

Isto pode significar que a altura em que a pastagem intercepte 95% da luz incidente seja diferente da altura determinada sob pleno sol, ou seja, é possível que para uma mesma altura, proporções diferentes de luz incidente sejam interceptadas, principalmente em gramíneas mais fotodependentes (i.e. espécies C4).

Além do estudo destas relações sob ambiente luminoso heterogêneo, devem ser levados em conta também o que está ao alcance de ser gerenciado em nível de sistema de produção, independente da presença ou não de árvores, dentre elas:

i) definição da intensidade de pastejo via determinação da taxa de lotação (quantidade de demanda de forragem) por unidade de forragem disponível (quantidade de forragem em oferta);

ii) distribuição dos animais na área via definição do método de pastoreio empregado (e.g., contínuo e rotativo) ⁽¹⁾

Isto significa que a condução do pastejo tenha poucas, porém determinantes, variáveis passíveis de serem manipuladas pelo homem. E dentre elas, a definição da intensidade de pastejo é a que parece ser a principal condicionante do impacto do animal no sistema, muito mais do que as demais ações de manejo (Carvalho et al., 2009).

No que diz respeito a pastagem sob pleno sol, incrementos na intensidade de pastejo provocam diminuição na captura da radiação solar na medida em que haja redução do índice de área foliar pelo pastejo (Figura 1). Em sistemas multiestrata, portanto, estratégias eficientes de manejo devem explorar a plasticidade fenotípica das diferentes forrageiras frente ao sombreamento, por meio de combinações orientadas entre frequência, intensidade de desfolhação dos pastos. O resultado direto dessas práticas é que a estrutura do dossel, condicionada pelo tamanho e qualidade do aparato fotossintético do estrato forrageiro, ou seja, o índice de área foliar do dossel, seja otimizada. Isso pode se traduzir em um cuidado ainda maior com a intensidade de pastejo utilizada, pois as plantas devem ser manejadas visando a manutenção de índice de área foliar residual mais elevado em relação ao pleno sol, em função das alterações morfológicas ocasionadas pela restrição luminosa.

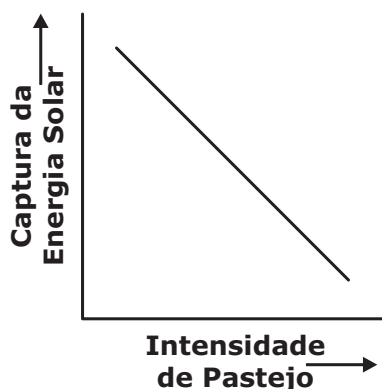


Figura 1. Relação da captura da energia solar em resposta a intensidade de pastejo (adaptado de Briske & Heitschmidt, 1991).

⁽¹⁾ O método de pastoreio tem importância secundária no manejo do pastejo. A quantidade de forragem em oferta e a estrutura do pasto são os fatores de manejo protagonistas, e por isso o foco estará sobre a intensidade de pastejo. Resultados de longo prazo que testam o baixo impacto do método de pastoreio sobre as lavouras em sucessão podem ser obtidos em Carvalho et al. (2010). Para discussão dos métodos de pastoreio o leitor é referido a Briske et al. (2008).

Em resumo, o crescimento do pasto depende da quantidade de energia interceptada (que é função da radiação solar incidente) e da área foliar remanescente. Assim sendo, o nível de sombreamento e a intensidade de pastejo afetam diretamente a área foliar, a estrutura e a interceptação luminosa do dossel forrageiro o que, por decorrência, afeta as taxas de fotossíntese e o ritmo de crescimento do pasto. A consequência disso para os sistemas integrados multiestrata é que a intensidade de pastejo acabe por determinar a frequência de desfolha, e conseqüentemente a estrutura do dossel forrageiro e sua rebrota.

Por outro lado, evidências existentes na literatura de que o cultivo em ambiente sombreado incrementa o valor nutritivo das forrageiras (especialmente para espécies C4, Lin et al. 2001), permitem inferir que o animal consiga apreender mais nutrientes por bocado. Assim, o animal acaba colhendo dieta mais rica em nutrientes, em comparação com o pleno sol. Além disso, quando a intensidade de pastejo é ajustada em função da disponibilidade de forragem, oferecendo uma estrutura de pasto adequada, o animal tem boa capacidade de seleção. Associado ao baixo dispêndio energético para procura e apreensão do alimento e à melhoria da dieta em função do efeito do sombreamento, o resultado do manejo do pastejo em condição de sub-bosque deve ser de uma produção por animal otimizada.

O ponto chave da sustentabilidade dos sistemas integrados de agricultura e pecuária diz respeito à intensidade de pastejo empregada, independente da presença ou ausência de árvores. Porém, visto que a estrutura do pasto pode variar consideravelmente em relação ao sombreamento e ao manejo imposto, com conseqüências diretas na produção animal, as pastagens sombreadas devem ser manejadas com lotações moderadas, de modo a permitir também uma adequada produção animal por área. Outro fator que deve ser levado em consideração refere-se à manutenção de resíduos pós-pastejo adequados, devido a sua influência nas condições de solo e na produtividade para a lavoura subsequente (no caso de rotações com lavouras).

Nos sistemas integrados sem componente arbóreo, Carvalho et al. (2009) afirmam que o ajuste da carga animal em função da disponibilidade de forragem tem importância maior do que o método de pastoreio empregado. Nos sistemas com presença de árvores, o método de pastoreio empregado parece ter influência sobre a sustentabilidade do sistema: Em sistemas que incluem o componente arbóreo, quando do uso de pastoreio rotativo (que utilizam taxas de lotação instantâneas maiores, em comparação com o pastoreio contínuo) pode haver danos em função dos animais esbarrarem não intencionalmente nas árvores. Por outro lado, quando o emprego da intensidade de pastejo for adequado, e for oferecida uma estrutura de pasto capaz de otimizar os bocados, esse risco é diminuído, pois os animais deslocam-se menos a procura de alimento. Isto significa que a escolha, por um ou outro método, deva levar em conta fatores outros que não a produtividade de um componente individual, e sim a produtividade e sustentabilidade de todo o sistema. Neste caso, no sistema integrado o fator chave no manejo do sistema para otimizar esses dois objetivos (maior produtividade total e sustentabilidade do sistema) é trabalhar com taxas de lotação que não sejam excessivas.

Assim, se por um lado sistemas integrados podem garantir a intensificação sustentável da agricultura, por promoção do aumento da produção de alimentos, fibras e energia por hectare, de modo associado à manutenção de serviços ambientais, por outro lado sua adoção depende da disponibilidade de informações técnico-científicas sobre sua viabilidade agrônômica e econômica, das demandas de mercado e, principalmente, de políticas governamentais que incentivem ou fomentem o uso destes sistemas integrados.

Referências

- ALLARD, G.; NELSON, C. J.; PALLARDY, S. G. Shade effects on growth of tall fescue. I. Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Science*, Madison, v.31, p.163-167, 1991.
- ALLDEN, W.G. and WHITTAKER, I.A. McD. (1970) *Australian Journal of Agriculture Research* 21: 755.
- ARNOLD, GOW. (1964). *Proceedings of Aust. Soc. of Animal Prod.* 2 :275.
- BARBOSA, R.A. Características morfofisiológicas e acúmulo de forragem em capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) submetido a frequências e intensidades de pastejo. 2004. 119f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - UFV, Viçosa. 2004.
- BARBOSA, R.A. et al. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 329-340, 2007.
- BARRO, R.S. et al. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41, 1589-1597. 2012.
- BERGEZ, J.E. et al. Light modification in a developing silvopastoral system in UK: a quantitative analysis. *Agroforestry System*, v.37, p.227-240, 1997.
- BINNIE R.C., CHESTNUTT D.M.B. Effect of regrowth interval on the productivity of swards defoliated by cutting and grazing. *Grass and Forage Science* 46:343-350. 1991.
- BRISKE, D.D., Heitschmidt, R.K. An ecological perspective. In: *Heitschmidt, R.K., Stuth, J.W. Grazing management: an ecological perspective*. Oregon: Timber Press, p.11-26. 1991.
- BUENO, A.A.O. Características estruturais do dossel forrageiro, valor nutritivo e produção de forragem em pastos de capim-Mombaça submetidos a regimes de lotação intermitente. 2003. 124f. *Dissertação* (Mestrado em Agronomia) - Ciência Animal e Pastagens, ESALQ, Piracicaba. 2003.
- BURNER, D.M.; D.P BELESKY. Diurnal effects on nutritive value of alley-cropped orchardgrass herbage. *Crop Science*, Madison, v.44, p.1776-1780, 2004.
- CARNEVALLI, R.A. Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-Mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente. 2003. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência Animal e Pastagens), ESALQ, Piracicaba. 2003.
- CARVALHO, P. C. F. & MORAES, A. Integration of Grasslands within Crop Systems in South America. *Grasslands Productivity and Ecosystems Services*. Eds. Lemaire, G.; Hodgson, J. Chabbi, A. p.219-226, 2011.
- CARVALHO, P.C.F. et al. Ecologia do Pastejo. IN: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A.; NASCIMENTO JR., D. et al. (Org.). *Manejo Estratégico da Pastagem*. Anais... Viçosa: Editora da UFV, p. 43-72. 2006.

CARVALHO, P.C.F. et al. Managing natural grasslands in a changing world: grazing ecology insights to accomplish re-oriented management expectations. In: Hong Fuzeng; Guo Qijun; Yun Jinfeng. (Org.). *Multifunctional Grasslands and Rangelands in a Changing World*. Beijing: Guangdong People's Publishing House, p. 415-421. 2009.

CARVALHO, P.C.F. et al. Características estruturais do pasto e o consumo de forragem: o quê pastar, quanto pastar e como se mover para encontrar o pasto. In: Pereira, O.G. et al. (Eds.). *Proceedings of 4th Symposium on Strategic Management of Pasture and 2 International Symposium on Animal Production under Grazing*, Manejo estratégico da Pastagem, Viçosa, p. 101-130. 2008.

CASTRO, C.R.T. et al. Produção forrageira e alterações morfológicas em gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 34., 1997, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: 1997, v. 2, p. 338-340.

CONGDON, B.; ADDISON, H. Optimising nutrition for productive and sustainable farm forestry system. RIRC/Land & Water Australia/FWPRDC MDBC Joint Venture Agroforestry Program, 2003. Disponível em: <<http://www.rirc.gov.au/>>. Acesso em: 16 abr. 2006.

CRUZ P. et al. Effect of shade on growth, nitrogen content and CO₂ leaf assimilation in a tropical perennial grass. In: SINOQUET, H.; CRUZ, P. (Eds.) *The Ecophysiology of Tropical Intercropping*. INRA Editions: Paris. 1995. p.285-293.

CRUZ, P. Effect of shade on the growth and mineral nutrition of a C₄ perennial grass under field conditions. *Plant and Soil, The Hague*, v.188, p.227-237, 1997.

Da SILVA, S.C. Understanding the dynamics of herbage accumulation in tropical grass species: the basis for planning efficient grazing management practices. In: McGilloway, D.A. (Ed.) *PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY*, CURITIBA, BRAZIL, 2004, CD-ROM.

ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I: Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, n.3, p.427-433, 1981.

FAO Sete Lagoas "Consensus" on Integrated Crop-Livestock Systems for Sustainable Development. *Plant Production and Protection Division Consultation Documents*. 2010. Disponível em <www.fao.org/agriculture/crops/corethemes/spi/iclsd/outcome> Acesso em 20 abril 2012.

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

FULKERSON, W. J.; SLACK, K. Effect of defoliation height and redefoliation interval on regrowth and survival of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in subtropical dairy pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 43, p. 121-125, 2003.

GIVNISH, T.J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.15, p.63-92, 1988.

GOBBI, K.F. Características morfoanatômicas, nutricionais e produtividade de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento. 2007. 82f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

- HEALEY, K.D.; RICKERT, K.G.; HAMMER, G.L.; BANGE, M.P. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.49, p.665-672. 1998.
- HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, Kyoto, Japan, 1985. 15, 63-66.
- JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; PALLARDY, S.G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.61-62, p.237-255. 2004.
- JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.76, p. 01-10. 2009
- KALLENBACH, R.L.; KERLEY, M.S.; BISHOP-HURLEY, G.J. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine walnut silvopasture. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.66, n.1. 2006.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. *Crop Science*, Madison, v. 33, p. 831-837, 1993.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Growth of C3 and C4 perennial grasses under reduced. *Crop Science*, Madison, v.32, p.1033-1038. 1992.
- KINIRY J.R.; TISCHLER C.R.; VAN ESBROECK G.A. Radiation use efficiency and leaf CO2 exchange for diverse C4 grasses. *Biomass & Bioenergy*, Oxford, v.17, p.95-112. 1999.
- LACORTE S.M., ESQUIVEL J.L. Sistemas silvopastoriles en la mesopotamia argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. In: CONGRESO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, Posadas (Misiones, Argentina). Actas. Posadas (Misiones, Argentina), 2009. p. 70-82
- LIN, C.H. et al. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.44, p.109-119. 1999.
- LIN, C.H. et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems*, v.53, p.269-281. 2001.
- MORAES, A. et al. Perspectivas da pesquisa em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no Brasil e os novos desafios., In: ANAIS REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Brasília, DF, 2012.
- OVALLE, C.; AVENDAÑO, J. Utilización silvopastoral del espinal. II. Influencia del espinal (Acacia caven (Mol.) Hook et Arn.) sobre algunos elementos del medio. *Agricultura Técnica*, Santiago, v.44, n.4, p.353-362, 1984
- PONTES, L. DA S. et al. Fluxo de Biomassa em Pastagem de Azevém Anual (*Lolium multiflorum* Lam.) Manejada em Diferentes Alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, p. 529-537, 2004.
- PERI, P.L.; GARGAGLIONE, V.; PASTUR, G.M. Dynamics of above - and below-ground biomass and nutrient accumulation in an age sequence of *Nothofagus antarctica* forest of Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.233, n.1, p.85-99. 2006.

RADIN, B. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes. 2002. 127f. *Tese* (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, Dordrecht , v. 38, p. 3-50, 1998.

SARMENTO, D.O.L. Produção, composição morfológica e valor nutritivo da forragem em pastos de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf. Cv Marandu submetidos a estratégias de pastejo rotativo por bovinos de corte. 2007. 144f. *Tese* (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SILVA, J.L.S. Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus saligna* Smith e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul. 1998. 178 f. *Tese* (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

SILVA-PANDO, F.J.; GONZALEZ-HERNANDEZ, 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.

TIEDEMANN, A.R.; KLEMMEDSON, J.O.; OGDEN. P.R. Response of four perennial southwestern grasses to shade. *Journal of Range Management*, Denver, v.24, p.442-447, 1971.

TRINDADE, J.K. et al. Composição morfológica da forragem consumida por bovinos de corte durante o rebaixamento do capim-marandu submetido a estratégias de pastejo rotativo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 883- 890, 2007.

VARELLA, A.C et al. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v.81 p.1-17, 2010.

WILSON, J. R.; LUDLOW, M. M. The environment and potential growth of herbage under plantation. In: WORK SHOP, 32., 1990, Sanur Beach, Bali-Indonesia. *Proceeding...* Sanur Beach: Australian Center for International Agricultural Research, 1990. p.10-24.

WILSON, J.R.; WILD, D.W.M. Improvement of nitrogen nutrition and grass growth under shading. In: SHELTON, H. M.; STÜR, W. W. (Eds.) Forages for plantation crops. Canberra, Australia: ACIAR, 1991. p.77. (ACIAR WILSON J.R.; WILD D.W.M. Nitrogen availability and grass yield under shade environments. In: MULLEN, B.F.; SHELTON, H.M. (Eds.) *Integration of Ruminants into Plantations Systems in Southeast Asia*. Canberra, Austrália: ACIAR, 1995. p. 42-48. (ACIAR Proceedings, 64).

WILSON, J.R.; WONG, C.C. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and siratro pastures. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, v. 33, n. 6, p. 937-949, 1982.