

50° Aniversario de ALPA
XXV Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal
Recife 07 al 10 de noviembre de 2016

Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção animal: ênfase nos sistemas silvipastoris

Domingos S. C. Paciullo¹, Maria F. A. Pires, Marcelo D. Müller

Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG, Brasil.

Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: emphasis on silvopastoral systems

Abstract: Use of integrated crop-livestock-forest systems can be an important strategy for increasing the sustainability of animal production in tropical regions. The benefit of such systems include increased soil fertility and conservation, improved thermal comfort for the animal, increased forage quality and possible income diversification, in addition to increased atmospheric carbon sequestration. The challenges to development of these systems are related to high economic investments and lack of competent technical assistance. The benefits of integrated systems depend on achieving balance among its components, as competition for resources for growth can render the system unsustainable.

Key words: Animal thermal comfort, Carbon sequestration, Forage quality.

Resumo: Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) representam uma estratégia importante para aumentar a sustentabilidade da produção animal na região tropical. Entre os benefícios da utilização desses sistemas, destacam-se o aumento da fertilidade e conservação do solo, a melhoria do conforto térmico para os animais, o aumento da qualidade da forragem e a possibilidade de diversificação de renda. Há também aumento do sequestro de carbono atmosférico. Os desafios para o desenvolvimento desses sistemas estão relacionados com os elevados investimentos econômicos e a falta de assistência técnica. Os benefícios de sistemas integrados dependem do equilíbrio entre os componentes, uma vez que a competição por recursos de crescimento pode tornar a sustentabilidade do sistema inviável.

Palavras-chave: Conforto térmico animal, Qualidade da forragem, Sequestro de carbono

Introdução

Os sistemas de ILPF se referem ao cultivo associado de plantas lenhosas perenes, plantas herbáceas (culturas agrícolas e/ou pastagens) e/ou animais, em uma mesma unidade de manejo e de acordo com um arranjo espacial, temporal ou ambos; nos quais deve haver tanto interações ecológicas como econômicas. Os sistemas podem

ser classificados em: a) lavoura-pecuária ou agropastoril: integra os componentes lavoura e pecuária, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área, em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; b) lavoura-pecuária-floresta ou agrossilvipastoril: integra componentes lavoura, pecuária e floresta, em rotação, consórcio ou

Recibido: 2017-02-11. Aceptado: 2017-05-01

¹Autor para la correspondencia: E-mail: domingos.paciullo@embrapa.br

sucessão, na mesma área. O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema; c) pecuária-floresta ou silvipastoril: integra os componentes pecuária e floresta em consórcio; d) lavoura-floresta ou silviagrícola: integra os componentes floresta e lavoura, pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes). O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema.

Alguns benefícios atribuídos ao uso desses sistemas são: a) aumento da biodiversidade, ou seja, da variedade de organismos vivos habitantes da área em que forem implantados; b) melhoria das propriedades físicas e químicas do solo; c) contribuição para a conservação do solo por proporcionarem maior controle da erosão; d) melhoria do conforto térmico para os animais, ao fornecerem sombra para o gado e

proporcionarem um ambiente com temperatura mais amena; e) melhoria do valor nutricional da forragem para os animais; d) possibilidade de suplementação alimentar para os animais por meio do pastejo, ou fornecimento no cocho, da forragem produzida pelas árvores e arbustos e pela silagem produzida com o cultivo da lavoura; e) obtenção de mais de um produto comercializável na mesma área (leite/carne + cultura agrícola + madeira) possibilitando aumento da renda do produtor.

Por outro lado, alguns desafios relacionados à tecnologia podem limitar sua adoção pelos produtores ou mesmo comprometer sua persistência. Estudos têm apontado soluções para muitos dos desafios, o que tem tornado a recomendação do sistema mais segura. Neste texto, procurou-se abordar as principais potencialidades de sistemas de integração, com ênfase nos silvipastoris, assim como os desafios a serem vencidos.

Componente lavoura e o sistema pecuário

Um dos principais fatores para o sucesso de um cultivo consorciado se baseia na complementação entre as espécies envolvidas, uma vez que, durante parte de seu ciclo existe competição pelos fatores de produção, o que vai interferir no resultado obtido ao final do ciclo da cultura anual. Dessa maneira, é importante caracterizar as espécies que irão compor o sistema. As culturas do milho, arroz, sorgo, soja e milheto têm sido empregadas nos sistemas de integração. O milho tem se destacado em virtude do rápido crescimento inicial e porte alto, o que facilita a competição com os outros componentes e a colheita mecanizada.

Nos sistemas de integração em que a lavoura é um componente importante, o custo de produção do produto animal pode ser reduzido pela maior disponibilidade de alimentos em quantidade e qualidade, especialmente quando se refere à pecuária leiteira. Dois pontos merecem destaque. O primeiro refere-se à incorporação de culturas de grãos na fazenda, especialmente nas produtoras de leite. O custo do transporte de grãos das principais regiões produtoras para as fazendas de leite acentua o preço do concentrado fornecido às vacas, aumentando o custo de produção unitário. A proximidade ou a interação com a produção de grãos permitirá a adoção de

subprodutos das culturas ou indústrias processadoras na formulação de concentrados. Gera-se, então, expectativa de maior redução nos custos com a suplementação concentrada.

O segundo ponto diz respeito à melhoria da quantidade e qualidade de forragem disponível nas pastagens. A maioria das pastagens brasileiras encontra-se abaixo do seu potencial produtivo, ou seja, em algum estágio de degradação. Como normalmente os pecuaristas não consideram a pastagem como uma lavoura, que deve ser cuidada e adubada, a tendência seria a redução cada vez maior do potencial produtivo das pastagens e dos solos. Com a adoção das modalidades de integração que consideram o componente lavoura, haverá maior disponibilidade de forragem de melhor qualidade para os animais, quer seja pela adubação residual das lavouras ou da própria pastagem.

Outra característica importante da integração lavoura-pecuária é a existência de pastos recém-formados todos os anos, considerando a rotação com a lavoura. Nota-se que os pastos de primeiro ano mantêm-se verdes por mais tempo no início da estação seca, retardando a necessidade de suplementação volumosa no cocho. Como a escassez de alimentos nessa época do ano é um

dos principais gargalos da produção animal, especialmente na atividade leiteira, a integração

poderá contribuir na maior parte do ano, sem suplementação volumosa.

Potencialidades da integração pecuária/floresta

Benefícios para o solo

As espécies arbóreas, especificamente as leguminosas, influenciam na quantidade e na disponibilidade de nitrogênio na zona de atuação do seu sistema radicular a partir da fixação biológica de N_2 . As árvores reduzem as perdas de nutrientes causados por diversos processos, como lixiviação e erosão, e aumentam a disponibilidade de nutrientes pela sua maior liberação na matéria orgânica do solo. Além disso, as raízes profundas das árvores podem interceptar os nutrientes que foram lixiviados das camadas superficiais e se acumularam no subsolo, geralmente fora do alcance do sistema radicular das forrageiras herbáceas, retornando-os à superfície (Ribaski 2001).

Nos sistemas silvipastoris (SSP), a sombra produzida pelas árvores é um dos fatores responsáveis pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo. Evidências mostram que a taxa de mineralização é estimulada pelo sombreamento. De acordo com Wilson (1998), a melhoria do ambiente do solo sob a copa das árvores possibilita atividade microbiana mais efetiva na decomposição da matéria orgânica, o que resulta em maior liberação do nitrogênio mineralizado. A dinâmica e a velocidade do processo de decomposição tornam-se mais eficientes, principalmente quando há presença de leguminosas, uma vez que a relação carbono/nitrogênio (C/N) desse material é baixa, favorecendo a maior atividade dos microrganismos, acelerando o processo de decomposição e mineralização dos principais nutrientes do

ecossistema (Wilson, 1996). Assim, a adição de leguminosas pode reduzir a imobilização de nitrogênio, que ocorre quando um resíduo vegetal com alta relação C/N é adicionado ao solo (Young, 1997).

Os efeitos esperados, particularmente em solos naturalmente pobres em nutrientes, são obtidos em longo prazo, pois dependem do crescimento das árvores e dos processos de decomposição da serapilheira das árvores. Outro exemplo do benefício de leguminosas arbóreas para a gramínea *B. decumbens* submetida a manejo extensivo foi apresentado no trabalho de Paciullo *et al.*, (2011b). O SSP foi implantado no início da década de 1990, com objetivo verificar o efeito de leguminosas arbóreas nas características de pastagens degradadas em áreas montanhosas da região Sudeste (Carvalho *et al.*, 2001). Os dados obtidos após 13 anos de implantação do SSP, indicaram aumentos significativos nos teores de vários nutrientes do solo, com reflexos positivos na massa de forragem e no conteúdo de N do pasto, à medida que se aumentou a percentagem de cobertura arbórea na pastagem (Tabela 1). Esses resultados evidenciam que a inclusão do componente arbóreo, constituído por leguminosas, pode contribuir para recuperação e persistência de pastagens de *B. decumbens* em áreas montanhosas, onde, normalmente, é adotado manejo extensivo.

A modificação do microclima, decorrente da presença do componente arbóreo, repercute sobre o balanço hídrico do solo, contribuindo

Tabela 1. Características do solo e do pasto de *B. decumbens*, após 13 anos de manejo sob três condições de cobertura por leguminosas arbóreas.

Característica	Cobertura por leguminosas arbóreas (%)		
	0	20	30
Solo			
K (mg/dm ³)	30,6	35,0	47,6
P (mg/dm ³)	1,87	2,90	5,20
MO (%)	1,70	2,10	2,53
CTC efetiva (cmol _c /dm ³)	1,25	1,45	1,86
CTC potencial (cmol _c /dm ³)	5,60	6,87	7,53

Fonte: Adaptado de Paciullo *et al.* (2011b).

para a elevação da umidade disponível para as plantas sob as copas das árvores. Wilson (1996) argumenta que, após um período de chuva, o teor de umidade do solo se reduz mais lentamente à sombra do que em condições de sol pleno. Essa mudança é importante na redução do déficit hídrico, principalmente em regiões de temperaturas mais elevadas. A retenção da umidade no solo por um maior período de tempo pode aumentar o crescimento das gramíneas, pela diminuição do déficit hídrico e/ou pelo favorecimento à atividade microbiana na serrapilheira e no solo.

Potencial para aumento do valor nutritivo do pasto

A sombra, geralmente, favorece o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, induzindo aumentos na concentração de nitrogênio na matéria seca das gramíneas (Castro *et al.*, 2009). Em pastagens de *B. decumbens* sombreadas por espécies arbóreas, leguminosas ou não, os teores de proteína bruta (PB) foram influenciados pelas condições de luminosidade; nas lâminas foliares dessa gramínea o teor de PB foi 29% maior na sombra do que no sol (Paciullo *et al.*, 2007). O maior teor de PB em gramíneas forrageiras cultivadas à sombra tem sido atribuído tanto ao efeito direto do sombreamento sobre características fisiológicas das plantas, quanto ao efeito do componente arbóreo sobre a dinâmica de nitrogênio no solo (Wilson, 1998). Sousa (2009) discute um mecanismo relacionado ao atraso no desenvolvimento ontogenético de plantas cultivadas à sombra mais intensa. Neste caso, as forrageiras tendem a ser mais jovens fisiologicamente, o que prolonga a fase vegetativa juvenil e permite a manutenção dos níveis metabólicos mais elevados por maior período de tempo. Um segundo mecanismo, proposto por Wilson (1998), está relacionado aos aumentos da degradação da matéria orgânica e da reciclagem de nitrogênio no solo em condições de sombreamento. Neste contexto, os maiores teores de PB do pasto, em condições de sombreamento, poderiam estar associados ao maior fluxo de nitrogênio no solo, especialmente quando o componente arbóreo é constituído por leguminosas.

Sobre os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) os resultados são contraditórios. Por exemplo, Denium *et al.* (1996) observaram efeito

positivo da sombra sobre a DIVMS de *Setaria anceps*, negativo em *P. maximum* e ausência de efeito em *B. brizantha*. Sob sombreamento intenso (28% de transmissão de luz) foram verificados decréscimos nos valores de digestibilidade de várias gramíneas forrageiras, mas em condições de sombra moderada (64% de transmissão de luz) a digestibilidade aumentou em comparação ao observado nas gramíneas cultivadas à luz solar plena.

De forma consistente o sombreamento contribui para aumentos dos teores de PB e minerais na forrageira. A tendência de menores teores de FDN, decorrente da menor quantidade de fotoassimilados em condições de sombra, associada ao maior teor de PB, geralmente melhora a digestibilidade da matéria seca (MS). Contudo, as variações positivas esperadas no valor nutritivo de forrageiras sombreadas dependem da espécie, nível de sombreamento, fertilidade inicial do solo, estação do ano, entre outros.

O sombreamento e o conforto animal

As variáveis ambientais como, temperatura, umidade, movimentação do ar e radiação solar, quando atingem valores superiores àqueles considerados como limítrofes para o conforto térmico dos bovinos leiteiros, podem exercer influência negativa sobre o desempenho destes animais, comprometendo a produção de leite, o ganho de peso, o crescimento e a reprodução, em decorrência de um processo conhecido como estresse calórico. Alguns índices têm sido desenvolvidos e utilizados para avaliar o impacto das variáveis ambientais sobre o desempenho do gado de leite, buscando prever o conforto, ou o desconforto térmico, dos bovinos leiteiros submetidos a diferentes condições climáticas. De modo geral, quatro parâmetros ambientais têm sido considerados: a temperatura do termômetro de bulbo seco, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar. O índice de conforto mais comumente utilizado é o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Quando o ITU ultrapassa o valor de 72, considera-se que o animal se encontra em estresse pelo calor, uma vez que este ponto representa o limite da zona de conforto para vacas em produção.

A capacidade do animal para resistir aos rigores do estresse calórico tem sido fisiologicamente avaliada por alterações na temperatura retal e na frequência respiratória e no comportamento animal (Pires *et al.*, 1998).

Algumas estratégias de manejo podem atenuar os efeitos do estresse térmico e dentre elas destaca-se a modificação física do ambiente, com intuito de reduzir a radiação incidente via provisão de sombra, diminuindo a carga calórica recebida pelos animais (Buffington *et al.*, 1983). Em sistema silvipastoril, o componente florestal contribui para o conforto dos animais, por meio da provisão de sombra, atenuando as temperaturas extremas, diminuindo o impacto de chuvas e vento, e servindo de abrigo para os animais (Salla, 2005).

Foram avaliados os efeitos do sombreamento sobre as variáveis fisiológicas e comportamento de novilhas leiteiras mestiças em SSP e em pastagem de braquiária solteira (Pires *et al.*, 2008). Foi verificado que no período da tarde o sombreamento proporcionou a atenuação de 1°C na temperatura do ar em relação àqueles valores aferidos a pleno sol (Tabela 2). A mesma tendência foi observada nos valores da Carga Térmica Radiante (CTR), evidenciando que a provisão de sombra na pastagem é um método eficiente para reduzir a radiação incidente sobre o animal, melhorando seu conforto térmico.

Segundo Morais (2002), a CTR traduz o total de energia térmica trocada entre o indivíduo e o ambiente e deveria ser a menor possível, para se obter conforto térmico. Assim, a autora, em seu experimento, considerou como altos os valores entre 666 e 801. Destaca-se, na Tabela 2, que todos os valores da CTR obtidos na sombra foram menores que o limite inferior mencionado por Morais (2002), enquanto a pleno sol, os valores abaixo do limite estabelecido pela autora, só foram obtidos no período da manhã. Ressalta-se, ainda, que no sistema silvipastoril, o microclima a pleno sol, representado pelos valores da CTR, apresentou-se mais adequado às condições de

conforto térmico do que nos piquetes de braquiária solteira, sob as mesmas condições de insolação, o que evidencia a importância de provisão de sombra para animais em pastejo.

Perspectivas para o aumento da produção animal

Poucos trabalhos investigaram características produtivas de animais mantidos em sistemas silvipastoris. Alguns trabalhos foram conduzidos em regiões de clima temperado, comparando sistemas silvipastoris e monocultivo de gramíneas (Kallembach *et al.*, 2006). Na região tropical, os resultados evidenciam o potencial de sistemas silvipastoris em prover melhorias, especialmente no desempenho individual de animais em regime de pastejo.

Os ganhos de peso de novilhas leiteiras Holandês x Zebu em sistema silvipastoril foram comparados com aqueles obtidos em pastagem de braquiária solteira (Paciullo *et al.*, 2011a). No primeiro e terceiro anos experimentais da época chuvosa foram observados maiores ganhos de peso no SSP do que no monocultivo (Tabela 3). Os autores consideraram que o maior teor de PB no SSP pode ter contribuído para melhoria da qualidade da dieta das novilhas na pastagem arborizada, favorecendo o desempenho animal. Considerando o consumo médio diário de MS na época chuvosa do ano de 2,3% do peso vivo (PV) (Paciullo *et al.*, 2009) e os teores de PB do pasto em cada sistema (8,9% para o silvipastoril e 7,8% para o monocultivo), durante o período chuvoso, foi calculado um consumo médio de 69 g/d de PB a mais no SSP, quando comparado ao sistema em monocultivo. Concluiu-se, também, que a amenização ambiental conferida pela sombra das árvores no SSP pode ter contribuído para o melhor desempenho das novilhas leiteiras, especialmente durante a época chuvosa, quando

Tabela 2. Médias da Temperatura Ambiente (TA), Carga Térmica Radiante (CTR), Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) em sistema silvipastoril e em pastagem exclusiva de *B. decumbens*.

Variável	Sistema silvipastoril		Monocultivo de <i>B. decumbens</i>	
	9:00 h	15:00 h	9:00 h	15:00 h
TA (°C)	21,5	27,4	21,9	28,5
CTR (W.m ²)	477	516	644	707
ITGU	71	76	80	85

Fonte: Adaptado de Pires *et al.* (2008).



Tabela 3. Desempenho de novilhas em crescimento durante a época chuvosa, de acordo com o sistema de recria.

Ano experimental	Sistema de recria					
	Silvipastoril			Monocultivo		
	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Ganho de peso (g/d)	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Ganho de peso (g/d)
2004/2005	234	336	722 A	237	324	624 B
2005/2006	270	342	647 A	261	324	563 A
2006/2007	283	349	628 A	293	347	515 B

^{AB}Médias seguidas por diferentes letras, na linha comparando sistema de recria, são diferentes ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: Adaptado de Paciullo *et al.* (2011a).

as temperaturas alcançaram valores próximos de 30 °C. O maior ganho de peso individual pode ser relevante para sistemas de pecuária leiteira, considerando que a aceleração no crescimento poderá contribuir para redução da idade à primeira concepção e, conseqüentemente, ao primeiro parto das novilhas.

Pires *et al.* (2009) avaliaram a massa e o valor nutritivo da forragem, o consumo de MS e a produção de leite de vacas Holandês x Zebu em pastagens arborizadas e com maior percentual de leguminosas herbáceas ou não-arborizadas e com menor percentual de leguminosas herbáceas. Os resultados demonstraram que a produção de leite foi maior na pastagem arborizada do que na pastagem não-arborizada. Considerando que as ofertas de forragem e os consumos de MS foram semelhantes entre os dois tipos de pastagem, a diferença na produção de leite foi atribuída a outros fatores. Primeiro, à maior diversidade de espécies forrageiras e, principalmente, à maior porcentagem de leguminosas na pastagem arborizada, as quais apresentaram maiores teores de PB que o campim-braquiária. O consumo de leguminosas pelas vacas provavelmente influenciou positivamente na qualidade da dieta, permitindo maior produção de leite. Os autores concluíram que o sombreamento pelas árvores, também pode ter proporcionado um ambiente com temperaturas mais amenas e, conseqüentemente, condições de conforto térmico mais adequadas às vacas em pastejo.

Em países como Colômbia, Costa Rica, México, entre outros da América do Sul e América Central, tem sido proposto um SSP intensivo, no qual são preconizadas altas densidades de plantas por hectare, em especial da espécie *Leucaena*

leucocephala. Murgueitio *et al.* (2011) apresentam resultados que demonstram o potencial do sistema, tais como capacidade de suporte de 4 UA/ha, produção de leite de mais de 10.000 L/ha-ano e potencial de persistência do sistema de mais de 20 anos.

Diversificação de produtos e renda na propriedade

As árvores existentes em um sistema silvipastoril podem permanecer por um longo período na área, cumprindo funções importantes, tais como sombreamento para os animais, incremento na reciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, entre outros. Por outro lado, pode-se prever a remoção do componente arbóreo em diferentes momentos de desenvolvimento do sistema. Neste caso, há possibilidade de uso da madeira na propriedade e/ou comercialização com vistas à obtenção de lucros financeiros.

Do ponto de vista econômico, alguns estudos têm evidenciado o potencial de comercialização das árvores. Oliveira *et al.* (2000) examinaram a viabilidade econômica da implantação de sistemas agrossilvipastoris em áreas do cerrado, visando à produção de madeira para serraria e para energia. Concluiu que esta prática torna-se viável, desde que pelo menos 5% da madeira produzida seja usada para serraria e a madeira restante para energia ou outro fim que alcance valor igual ou mais alto no mercado. Dubé *et al.* (2000) também fizeram a avaliação econômica deste sistema e concluíram que uma alocação de madeira para serraria superior a 40% proporcionaria melhor retorno e que a empresa que utiliza sistemas agrossilvipastoris é mais eficiente do ponto de vista econômico do uso da terra, já que o custo de implantação e manutenção

de 1 ha de eucalipto representa mais de um terço dos custos totais de implantação, manutenção e colheita dos componentes do sistema.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, foram comparados aspectos econômicos de três sistemas de produção: 1) reflorestamento de eucalipto (3 x 3 m); 2) pecuária leiteira convencional e 3) sistema silvipastoril - eucalipto (10 x 4 m) + pecuária leiteira (Vale, 2004). Vários indicadores econômicos apontaram para vantagens do SSP, motivo pelo qual os autores concluíram que o uso de SSP com eucalipto + pecuária leiteira representa uma alternativa viável para o desenvolvimento sustentável da região.

Na Embrapa Gado de Leite, um experimento de longa duração vem sendo conduzido para avaliar aspectos ambientais, produtivos e econômicos de um modelo de SSP implantado em área de topografia montanhosa. Aos sete anos de idade foi realizado um desbaste seletivo das árvores de eucalipto com o objetivo de aumentar a incidência de radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque, prolongar a ciclagem de nutrientes, reduzir o tempo para produzir árvores de grande porte com tronco de qualidade desejada e obter produtos florestais com possibilidade de rendas intermediárias (antes do corte final). Para avaliar a receita obtida pela venda da madeira, foram consideradas as seguintes alternativas: 1: venda madeira em pé; 2: venda da madeira empilhada na estrada; e 3: venda da madeira colocada no pátio do consumidor (considerou-se a venda de mourões na propriedade). Pela análise da Tabela 4 (Müller *et al.*, 2011), pode-se observar que a uma taxa de desconto de 6%, tanto o VPL quanto a TIR, apontam que todas as alternativas de obtenção de receita pela venda da madeira foram viáveis. Esses valores também mostraram que, a agregação de valor ao produto florestal (Alternativa 3), mantendo-se todos os demais produtos do sistema constantes, proporcionou aumento da atratividade.

Os autores concluíram que o sistema se apresenta pouco sensível a variações nos preços dos produtos e bastante tolerante ao aumento do custo. Para carne o preço deve sofrer queda de 25%, 33% e 39%, nas situações de venda da madeira em pé, empilhada na estrada e entregue no pátio do consumidor, respectivamente para que o sistema se torne inviável. Já para o caso da madeira o sistema suporta uma queda ainda maior no preço, ou seja, a queda nos preços da madeira nas três situações deveria ser de 56%, 57% e 59%, respectivamente, para que o sistema se torne inviável.

Sequestro de carbono

De acordo com projeções recentes, a área mundial plantada com sistemas agrossilvipastoris aumentará substancialmente em um futuro próximo. Sem dúvida, isso terá um grande impacto sobre o armazenamento e o fluxo C em um longo prazo na biosfera terrestre (Dixon *et al.*, 1993). Embora os sistemas agrossilvipastoris possam envolver práticas que favorecem a emissão de gases de efeito estufa (GEE), incluindo a agricultura itinerante, uso da adubação nitrogenada, entre outras (Dixon *et al.*, 1993). Vários estudos têm mostrado que a inclusão de árvores em áreas agrícolas e pecuárias, em geral, melhora a produtividade dos sistemas, oferecendo oportunidades para aumentar o sequestro de C (Dixon *et al.*, 1993; Montagnini e Nair, 2004; Andrade *et al.*, 2008). Além disso, os sistemas agrossilvipastoris podem ter um efeito indireto no sequestro de C, na medida em que contribuem para reduzir a pressão sobre as florestas naturais, que são o maior sumidouro de C terrestre (Montagnini e Nair, 2004). Dentro de regiões tropicais, estima-se que um hectare de sistema agroflorestal manejado adequadamente poderia potencialmente compensar 5 a 20 ha de desmatamento (Dixon *et al.*, 1993).

Em sistemas silvipastoris, o sequestro de C envolve primariamente a captura do CO₂

Tabela 4. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) do sistema, considerando as três alternativas de obtenção de receita pela venda da madeira, com uma taxa de desconto de 6%

	Madeira em pé	Madeira empilhada na estrada	Madeira colocada no pátio
VPL	R\$ 1.152,23	R\$ 1.480,00	R\$ 1.743,31
TIR	10%	11,00%	11,65%

Fonte: Müller *et al.* (2011).



atmosférico durante a fotossíntese e a transferência do C fixado para o armazenamento, tanto acima, quanto abaixo do solo. Acima do solo o C é fixado em caules e folhas de árvores e plantas herbáceas, enquanto abaixo do solo é fixado em raízes, organismos do solo, além do C estocado em diferentes horizontes do solo (Nair, 2012). Com base na hipótese de que a incorporação de árvores em áreas de pastagens poderia resultar em maior quantidade líquida de C estocado (Haile *et al.*, 2008), acredita-se que SSP apresentam maior potencial para sequestrar C, que monocultivos de pastagens ou culturas agrícolas.

O aumento no estoque de C em um determinado período é simplesmente o primeiro passo. Em sistemas agrossilvipastoris, o sequestro de C é um processo dinâmico que pode ser

dividido em várias fases. Durante o estabelecimento, muitos sistemas podem tornar-se fonte de gases, pelas perdas de C e N da vegetação e do solo. Segue-se um período de rápida acumulação, quando toneladas de C são armazenadas em caules, folhas, raízes e solo. Na fase de colheita das árvores, uma consideração importante se refere ao uso da biomassa arbórea em SSP. Se as árvores colhidas são usadas como madeira para produção de móveis e construções o C estará fixado por longo período. Por outro lado, o sequestro pode ser de curto período se as árvores são queimadas ou destinadas à produção de papel. O sequestro efetivo somente pode ser considerado se o balanço líquido positivo de C ocorre após várias décadas, em relação ao estoque inicial (Albrecht e Kandji, 2003).

Desafios

Apesar dos vários benefícios potenciais da implantação de SSP, alguns desafios inerentes à tecnologia podem interferir negativamente no processo de adoção pelos produtores rurais (Dias Filho, 2007), assim como na sustentabilidade do sistema.

Questão econômica

Em revisão sobre o assunto, Dias Filho (2007) menciona sobre um estudo do Banco Mundial sobre SSP, o qual relaciona a baixa lucratividade inicial do sistema à dificuldade no processo de adoção pelo produtor (Pagiola *et al.*, 2004). Segundo os autores, a razão para isso seria que a implantação desses sistemas exige maiores investimentos de tempo e dinheiro, os quais diminuiriam a velocidade de obtenção dos lucros. Por esse motivo, nos primeiros anos após o estabelecimento de SSP, a renda da propriedade rural seria comparativamente menor do que aquela sob sistema tradicional de pastagem (i.e., pastagem em monocultivo de gramínea). Isso ocorreria devido aos maiores investimentos iniciais para a implantação do SSP e ao tempo demandado para que as árvores cresçam o suficiente para gerar benefícios financeiros diretos (e.g., colheita de produtos oriundos das árvores) ou indiretos (e.g., melhoria no desempenho do gado). Por exemplo, no estudo de Pagiola *et al.* (2004), desenvolvido em uma propriedade rural de 20 ha na Nicarágua, para a produção de bovinos de corte e leite, encontrou-se que somente no quinto ano após a implantação, a

renda líquida do SSP ultrapassaria aquela do sistema tradicional de pastagem.

A disponibilização de políticas públicas com linhas de crédito específicas para sistemas de integração, como o programa “Agricultura de Baixo Carbono” (programa ABC), pode reduzir o problema, desde que facilitem a tomada de recursos financeiros pelo produtor, sendo, este, talvez, o maior desafio de tais programas governamentais.

O desafio da assistência técnica

Os SSP são constituídos por espécies forrageiras e florestais, além dos animais. O conjunto de interações entre os componentes, inerente ao sistema, torna esse sistema mais complexo do que sistemas de monocultivo. As estratégias de implantação e manutenção requerem mão de obra mais capacitada, infraestrutura mais elaborada e principalmente, maior número de tomada de decisões de manejo, quando comparado a sistemas mais tradicionais e menos intensivos de uso da terra, como as pastagens de gramíneas em monocultivo (Dias Filho, 2007). Neste contexto, o respaldo técnico de especialistas conhecedor das ações de manejo do sistema é de fundamental importância durante todas as fases do sistema (planejamento, implantação, desenvolvimento e produção). A intensificação do número de cursos para treinamento de técnicos de empresas públicas e privadas de assistência técnica seria de suma

importância para garantir que o produtor receba informações corretas relacionadas à tecnologia.

O desafio de produzir forragem em condições de sombreamento

A redução da luminosidade disponível para as pastagens que crescem sob as copas das árvores influencia, de forma diferenciada, aspectos morfo-genéticos determinantes da sua produtividade, dependendo tanto da espécie forrageira considerada, como do nível de sombreamento imposto pelas espécies arbóreas associadas.

Mesmo gramíneas consideradas medianamente tolerantes ao sombreamento têm apresentado redução acentuada da produção de forragem quando submetidas a condições de sombreamento intenso, em geral com níveis de sombra acima de 50% da luz solar plena (Andrade *et al.*, 2004; Paciullo *et al.*, 2007), o que pode ameaçar a persistência do pasto em ambientes silvipastoris. Resultados de pesquisa têm revelado que a *B. decumbens* se mostrou pouco tolerante ao sombreamento intenso (65% de sombreamento em relação à condição de sol pleno), considerando o baixo nível de produtividade obtido (Tabela 1). A diminuição do sombreamento de 65 para 35% resultou em aumentos da ordem de 65% para a massa de forragem (Paciullo *et al.*, 2007), evidenciando a tolerância dessa espécie ao sombreamento moderado. Castro *et al.* (1999) também observaram redução de 50% no rendimento forrageiro dessa espécie quando cultivada com 60% de sombreamento artificial. A espécie *Brachiaria brizantha* cv. Marandu também apresentou diminuição de 60% na taxa de acúmulo de MS quando cultivada sob 70% sombreamento artificial (Andrade *et al.*, 2004).

Dois aspectos são importantes na tentativa de mitigar as influências negativas do sombreamento sobre o crescimento do pasto. Primeiro, a escolha

de forrageiras pelo menos medianamente tolerantes ao sombreamento, tais como as do gênero *Brachiaria*. O segundo aspecto diz respeito à densidade e ao arranjo de plantio das árvores, além das práticas de manejo do componente arbóreo durante o desenvolvimento do sistema. Em espaçamentos mais amplos há maior incidência de luminosidade no sub-bosque. Além disso, a idade altera o padrão de distribuição da luminosidade para o sub-bosque, apesar de se manter a tendência de maior luminosidade para o sub-bosque nos espaçamentos mais amplos (Oliveira *et al.*, 2007).

Sendo assim, tendo em vista o caráter de longo prazo deste tipo de sistema, enfatiza-se que é imperativo o controle do sombreamento. Este controle se dá basicamente por meio de dois tipos de manejo: a desrama e o desbaste. A desrama artificial consiste na remoção de galhos vivos da árvore com o objetivo de aumentar a qualidade do produto final, obtendo-se madeira limpa e sem defeitos (Polli *et al.*, 2006). A desrama ainda tem a finalidade de favorecer o crescimento e as características dendrométricas das árvores, bem como, aumentar a luminosidade nas entrelinhas das árvores, favorecendo o crescimento do pasto. Neste sentido, estima-se que a desrama pode proporcionar um aumento entre 30 e 40% de luminosidade para o sub-bosque. O desbaste, por sua vez, consiste na remoção de árvores selecionadas dentro do sistema. Esta técnica é empregada na silvicultura tradicional, com o objetivo de melhorar as características físicas e de forma das árvores de melhor qualidade para produção de madeira de alto valor agregado. Entretanto, pode-se depreender que a despeito do objetivo meramente silvicultural, há outro benefício associado que é o aumento de luminosidade incidente no sub-bosque.

Considerações finais

Um dos grandes desafios da agropecuária é manter a produção em níveis tais que sustentem uma população em crescimento sem com isto contribuir para aumentar a degradação do meio ambiente. O uso de sistemas de integração para a produção de ruminantes surge como opção técnica e economicamente viável. Esses sistemas apresentam uma série de vantagens do ponto de vista agrônomo, zootécnico, econômico e

ambiental. Entretanto, alguns desafios devem ser enfrentados, tais como os de ordem econômica e operacional, ligadas à maior complexidade do sistema e às dificuldades de manejo. O sombreamento também deverá ser apenas moderado ao longo dos ciclos de produção vegetal e animal, a fim de se evitar redução na produção de forragem no sub-bosque.

Literatura Citada

- Albrecht, A., and S. T. Kandji. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99:15-27.
- Andrade, C. M. S., J. F. Valentim, J. C. Carneiro e F. A. Vaz. 2004. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesq. Agropec. Bras.* 39:263-270.
- Andrade, E. J., R. Brook, and M. Ibrahím. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvo-pastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil*, 30:11-22.
- Buffington, D., R. J. Collier, and G. H. Canton. 1983. Shade management: systems to reduce heat stress for dairy cows in hot humid climates. *Trans. ASAE* 26:1798-1802.
- Carvalho, M. M., D. F. Xavier, e M. J. Alvim. 2001. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: Carvalho, M. M., M. J. Alvim, e J. C. Carneiro (Ed.) *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, p. 189-204.
- Castro, C. R. T., R. Garcia, M. M. Carvalho, e L. Couto 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Rev. Bras. Zoot.* 28:919-927.
- Castro, C. R. T., D. S. C. Paciullo, C. A. M. Gomide, M. D. Müller, e É. R. Nascimento Jr. 2009. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Pesq. Florestal Bras.* 60:19-25.
- Denim, B., R. D. Sulastri, M. H. J. Seinab, and A. Maassen. 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). *Neth. J. Agric. Sci.* 44:111-124.
- Dias-Filho, M. B. 2007. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. (3.^a Ed.) Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Brasil. 190 p.
- Dixon, R. K., J. K. Winjum, and P. E. Schroeder. 1993. Conservation and sequestration of carbon: the potential of forest and agro-forest management practices. *Gl. Environ. Chn.* 2:159-173.
- Dubé, F., L. Couto, R. Garcia, G. A. A. Araújo, H. G. Leite, e M. L. Silva. 2000. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com *Eucalyptus* sp. no nordeste do Estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais. *Rev. Árvore, Viçosa*, 24:437-443.
- Haile, S. G., P. K. R., Nair, and V. D. Nair, 2008. Carbon storage of different soil-size fractions in Florida silvopastoral systems. *J. Environmental Quality*, 37:1789-1797.
- Kallenbach, R. L., M. S. Kerley, and J. G. Bishop-Hurley. 2006. Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine-walnut silvopasture. *Agroforestry Systems* 66:43-53.
- Montagnini, F., and P. K. R. Nair. 2004. Carbon sequestration: the underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281-295.
- Moraís, D. A. E. F. 2002. Variação de características do pelame, níveis de hormônios tireoideanos e produção de vacas leiteiras em ambiente quente e seco. 123 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jabotical.
- Müller, M. D., G. S. Nogueira, C. R. Tavares de Castro, D. S. C. Paciullo, F. F. Alves, R. V. O. Castro, and E. N. Fernandes. 2011. Economic analysis of an agrosilvo-pastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. *Pesq. Agropecuária Bras.* 46:1148-1153.
- Murgueitio, E., Z. Calle, F. Uribe, A. Calle, and B. Solorio. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forestry Ecology Management* 261:1654-1663.
- Nair, P. K. R. 2012. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems*, 86:243-253.
- Oliveira, A. D., J. R. S. Scolforo, e V. P. Silveira. 2000. Análise econômica de um sistema agrossilvipastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. *Ciência Florestal*. 10:1-19.
- Oliveira, T. K., R. L. G. Macedo, N. Venturin, S. A. Botelho, E. M. Higashikawa, e W. M. Magalhães. 2007. Radiação solar no sub-bosque de sistema agrossilvipastoril com eucalipto em diferentes arranjos estruturais. *Cerne*, 13:40-50.
- Paciullo, D. S. C., C. A. B. Carvalho, L. J. M. Aroeira, M. J. F. Morenz, F. C. F. Lopes, e R. O. P. Rossiello. 2007. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesq. Agropecuária Bras.* 42:573-579.
- Paciullo, D. S. C., C. R. T. Castro, C. A. M. Gomide, R. M. Maurício, M. F. A. Pires, M. D. Müller, and D. F. Xavier. 2011a. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest. Sci.* 141:166-172.
- Paciullo, D. S. C., C. Castro, M. Müller, D. Javier, R. Rossiello, C. López y C. Gomidez. 2011b. Fertilidad del suelo y biomasa de forraje en pasturas manejadas con diferentes coberturas arbóreas. In: V Congreso Forestal de Cuba. Habana. 5 p. 1 CD.
- Paciullo, D. S. C., F. C. F. Lopes, J. D. Malaquias Júnior, A. Viana Filho, N. M. Rodriguez, M. J. F. Morenz, e L. J. M. Aroeira. 2009. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. *Pesq. Agropecuária Bras.* 44:1528-1535.
- Pagiola, S., P. Agostini, J. Gobbi, C. de Haan, M. Ibrahim, E. Murgueitio, E. Ramírez, M. Rosales, and J. P. Ruíz. 2004. Paying for biodiversity conservation services in agricultural landscapes. Environment Department Paper, Vol. 96. World Bank, Washington.
- Pires, M. F. A., D. S. C. Paciullo, e L. J. M. Aroeira. 2009. Produção leiteira de vacas mestiças em pastagens arborizadas ou não e consorciadas de gramíneas com leguminosas, manejadas de forma orgânica. In:

- Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Posadas, Argentina. INTA, Actas, 354-358.
- Pires, M. F. A., L. E. Salla, and C. R. T. Castro. 2008. Physiological and behavioral parameters of crossbreeds in single *Brachiaria decumbens* pastures and in silvopastoral systems. In: Livestock and Global Climate Change, Symp. Proc. Hammamet, Tunisia. EAAP. pp. 115-118.
- Polli, H. Q., G. G. dos Reis, M. G. F. Reis, B. R. Vital, J. E. M. Pezzopane e I. C. I. Fontan 2006. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. Rev. Árvore, 30:557-566.
- Ribaski, J., L. J. V. Montoya, e H. R. Rodigheri. 2001. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos. Informe Agropecuário. 22:61-67.
- Salla, L. E. 2005. Comportamento e características adaptativas de novilhas leiteiras em sistema de pastejo rotacionado. 85 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Sousa, L. F. 2009. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril e monoculivo. 166 pp. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Vale, S. R. 2004. Agrosilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.
- Wilson, J. R. 1996. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. Aus. J. Agric. Res. 47:1075-1093.
- Wilson, J. R. 1998. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. Tropical Grassland, 32:209-220.
- Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. (2nd Ed.) CAB International, 320 pp.