



ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL DOS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO: QUAIS SÃO SEUS BENEFÍCIOS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES?

Social-environmental analysis of integration systems: what are their benefits, challenges and opportunities?

Liliane Moreira Nery, Gabriela Gomes, Nicholas de Paula Nicomedes, Darllan Collins da Cunha e Silva, Débora Zumkeller Sabonaro
Emails: liliane.nery@unesp.br, gabriela.gomes98@unesp.br, nicholas.nicomedes@unesp.br, darllan.collins@unesp.br, dzsabonaro@gmail.com

RESUMO

As preocupações com a sustentabilidade dos sistemas agropecuários evidenciam a necessidade de novas abordagens para a produção agrícola. Visto isso, esse estudo, com base na revisão da literatura, avaliou os benefícios socioambientais proporcionados pelos sistemas integrados (SI), os desafios e oportunidades na difusão dessa tecnologia. As melhorias ambientais proporcionadas pelos SI já são bem descritas, porém, pouco se sabe sobre seus efeitos na propriedade rural e as dificuldades na sua implementação. A implementação dos sistemas de conservação, quando comparados a um sistema convencional de produção, reduzem a perturbação do solo, aumentam a cobertura da matéria orgânica e apresentam menor potencial de erosão e compactação do solo. Além disso, sistemas integrados que incluem componentes forrageiros e ou/ florestais, melhoram as propriedades do solo e tem potencial para reter carbono no solo e na biomassa, reduzindo emissões de gases de efeito estufa. No entanto, o alto custo inicial e a baixa escolaridade entre os pequenos produtores podem ser barreiras para a adoção desses sistemas. Percepções negativas do mercado e incentivos governamentais também podem favorecer os sistemas tradicionais. Reconhecer os benefícios de longo prazo e implementar pagamentos por serviços ambientais podem incentivar a adoção desses sistemas. No entanto, é necessário um melhor entendimento das implicações de poluição dos sistemas de integração com sistemas convencionais de produção. Portanto, a capacidade da integração em melhorar os atributos relacionados à qualidade do solo contribui para a recuperação de pastagens degradadas, aumento da produtividade e sequestro de C. Conclui-se ainda, que a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) pode ser vista como uma tecnologia inovadora dentro de um cenário de regime agrícola já estabelecido, proporcionando uma nova conduta agrícola.

Palavras-chave: Sistemas integrados, Agricultura sustentável, Propriedade rural, Conservação do solo.

ACEITO EM: 15/03/2024

PUBLICADO EM: 01/08/2024



SOCIAL-ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF INTEGRATION SYSTEMS: WHAT ARE THEIR BENEFITS, CHALLENGES AND OPPORTUNITIES?

Análise socioambiental dos sistemas de integração: quais são seus benefícios, desafios e oportunidades?

Liliane Moreira Nery, Gabriela Gomes, Nicholas de Paula Nicomedes, Darllan Collins da Cunha e Silva, Débora Zumkeller Sabonaro
Emails: liliane.nery@unesp.br, gabriela.gomes98@unesp.br, nicholas.nicomedes@unesp.br, darllan.collins@unesp.br, dzsabonaro@gmail.com

ABSTRACT

Concerns about the sustainability of agricultural systems highlight the need for new approaches to agricultural production. Given this, this study, based on a literature review, assessed the socio-environmental benefits provided by integrated systems (IS), the challenges, and opportunities in the dissemination of this technology. The environmental improvements provided by IS are well described, however, little is known about their effects on rural property and the difficulties in their implementation. The implementation of conservation systems, when compared to a conventional production system, reduces soil disturbance, increases organic matter coverage, and presents lower potential for soil erosion and compaction. Moreover, integrated systems that include forage and/or forestry components improve soil properties and have the potential to sequester carbon in soil and biomass, reducing greenhouse gas emissions. However, high initial costs and low education levels among small producers may be barriers to the adoption of these systems. Negative market perceptions and government incentives can also favor traditional systems. Recognizing the long-term benefits and implementing payments for environmental services can encourage the adoption of these systems. However, a better understanding of the pollution implications of integrating systems with conventional production systems is necessary. Therefore, the integration's ability to improve soil quality attributes contributes to the recovery of degraded pastures, increased productivity, and carbon sequestration. It is further concluded that Integrated Crop-Livestock-Forest Integration (ICLFI) can be seen as an innovative technology within an established agricultural regime, providing a new agricultural approach.

Keywords: Integrated systems, Sustainable agriculture, Rural property, Soil conservation.

INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX, diversos países vivenciaram rápidas mudanças em suas atividades agrícolas com o aumento substancial na produção de alimentos para atender a demanda crescente da população mundial (Alves; Madari; Boddey, 2017; Pretty et al., 2018). Essas mudanças foram apoiadas no intenso uso de maquinário agrícola, fertilizantes sintéticos e produtos químicos, juntamente com a concentração e especialização de apenas um tipo de produto, caracterizando a atividade agrícola moderna como sistemas padronizadas e simplificados, gerando uma crescente demanda por terras para lavoura e pecuária para atender aos atuais e potenciais novos mercados, desassociando e tornando independente as atividades de lavoura, pecuária e silvicultura, o que tem pressionado os ambientes naturais (Balbino et al., 2011; Alves; Madari; Boddey, 2017).

A expansão das atividades agropecuárias causa perda de biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa (GEE), depreciação dos recursos hídricos, deposição de nutrientes (nitrogênio e fósforo) na biosfera e degradação do solo. A intensificação sustentável de terras agrícolas e pastagens, é uma demanda urgente para reconciliar as demandas concorrentes sobre o uso da terra para a produção de alimentos e a conservação de ecossistemas (Garrett et al., 2018; Pretty et al., 2018; Cortner et al., 2019; Garrett et al., 2020). Para enfrentar esse desafio, é necessário identificar práticas agrícolas que possam fornecer maiores benefícios ambientais, mas que também sejam capazes de manter, ou melhorar, a produtividade e a renda rural, em face das limitações de recursos do produtor (Alves; Madari; Boddey, 2017; Cortner et al., 2019).

O Brasil, na tentativa de equilibrar a produção agrícola e a proteção ambiental, reduzir o desmatamento e as emissões de GEE, assim como otimizar o uso da terra como um todo, procurou adotar medidas para direcionar a expansão de pastagens e lavouras para áreas já desmatadas, investindo em tecnologias capazes de aumentar a produtividade enquanto restauram terras degradadas (Brasil, 2013; Gil; Siebold; Berger, 2015; Garrett et al., 2017).

Os sistemas integrados ou sistemas de integração (SI), combinam atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais em uma mesma área, podendo incluir culturas anuais e perenes, diferentes espécies de árvores e vários arranjos espaciais, variando a densidade de plantio, operações de campo e a frequência de rotação entre as culturas e as gramíneas (Moraes et al., 2014a; Gil; Siebold; Berger, 2015). A reintegração dos sistemas de lavoura, pecuária e silvicultura, podem ajudar a reduzir a poluição associada à produção agrícola moderna, já que a associação desses componentes permite uma relação sinérgica entre eles, repercutindo em maiores resultados de produtividade, economia de custos e fornecimento de serviços ambientais aprimorados (Gil; Siebold; Berger, 2015; Garrett et al., 2017).

O reconhecimento dos impactos positivos dos SI levaram a sua inclusão em políticas públicas nacionais, sendo adotados como estratégia de agricultura de baixo carbono no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), com o objetivo de reduzir as emissões de carbono (C) por meio do estímulo à processos tecnológicos que neutralizem as emissões ou aumentem a capacidade do solo em estocar C, compensando as emissões de GEE (MAPA, 2012; Brasil, 2013; Buller et al., 2015; Gil; Siebold; Berger, 2015).

Os SI podem ser classificados em quatro modalidades, definidos na “Política Nacional dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta”, instituída pela Lei 12.805 de 29 de abril de 2013, dependendo dos componentes que os constituem: integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF); integração pecuária-floresta (IPF) e integração lavoura-floresta (ILF). Com a combinação desses diferentes elementos, a produção pode ser apoiada em pelo menos três tipos de produtos em uma mesma área, durante um período definido, através de consórcio, sucessão ou rotação (Balbino; Barcellos; Stone, 2011; Brasil, 2013; Gil et al., 2015; Costa et al., 2018).

A avaliação dos benefícios ambientais gerados pela adoção das diferentes modalidades dos SI não é uma tarefa simples, todavia, estudos recentes concentraram-se em abordar os efeitos desses sistemas sobre a qualidade do solo (Ambus et al., 2018; Carvalho et al., 2018; Silva et al., 2018; Bieluczyk et al., 2020), estoque de C e balanço de emissões de GEE (Buller et al., 2015; Cerri et al., 2016; Figueiredo et al., 2017; Pontes et al., 2018; Ribeiro et al., 2019; Alves et al., 2020; Sarto et al., 2020a). Poucos abordam uma análise ampla dos benefícios socioambientais ofertados por esses meios de produção (Costa et al., 2018; Hendrickson, 2020), assim como poucas publicações

apontam como ocorre a percepção dos produtores rurais sobre essa alternativa tecnológica e os determinantes para a sua implantação (Gil; Siebold; Berger, 2015; Cortner et al., 2019).

Tomando por base uma revisão da literatura, esse estudo avaliou os benefícios socioambientais proporcionados pelas diferentes modalidades dos SI, verificando não apenas os efeitos sobre o meio ambiente, mas também, sobre a propriedade rural, de forma que se concentrou em identificar os desafios e as oportunidades para a adoção desses meios de produção.

1 BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

Cerca de 21% da cobertura e uso da terra no Brasil se refere às pastagens, representando aproximadamente 180,9 milhões de hectares de ocupação, os quais, aproximadamente 94,9 milhões de hectares apresentam indícios de degradação, representando um dos maiores problemas da produção agropecuária brasileira (Lapig, 2018; Santos et al., 2020; Silva et al., 2020).

O desequilíbrio de nutrientes entre a vegetação e o solo é um fator importante que causa essa depreciação, contribuindo para a baixa produtividade animal e o aumento nas perdas de matéria orgânica do solo. De uma perspectiva ecológica, funções ambientais como: conservação da água; sequestro de C; e proteção da biodiversidade, são reduzidas em pastagens degradadas, sendo necessária a adoção de práticas agrícolas de conservação para manter a cobertura contínua do solo. Os regimes racionais de pastejo, levando em consideração sua intensidade e duração, podem promover melhorias nas múltiplas interações entre os componentes do solo (Dong et al., 2020; Santos et al., 2020; Silva et al., 2020).

Os SI são vistos como uma técnica eficiente para a recuperação e formação de pastagens de baixo custo para atender as demandas da produção animal, se destacando por se tratar de uma tecnologia sustentável e competitiva para alavancar o agronegócio (Santos et al., 2020; Silva et al., 2020). Esses meios de produção se sobressaem dos demais, conforme reforçado pelas percepções de produtores rurais que utilizam esses sistemas, pela capacidade de solucionar problemas de baixa produtividade, reforçando uma de suas principais vantagens: a possibilidade de reabilitar pastagens degradadas e a correção de sua eficiência (Gil; Siebold; Berger, 2015; Cortner et al., 2019).

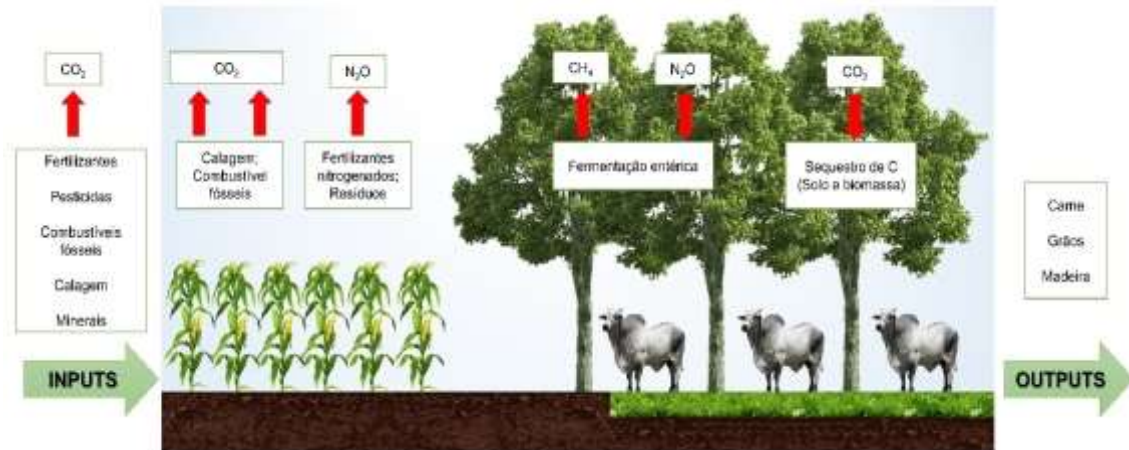
Em pastagens degradadas a atividade biológica do solo é menor, enquanto nos SI há um efeito positivo sobre a biomassa microbiana e atividades enzimáticas, levando a uma ciclagem mais rápida de nutrientes, que por sua vez, contribuem no aumento significativo das frações de C e nitrogênio (N) lábeis do solo (Zago; Ramalho; Caramori, 2019; Galindo et al., 2020; Sekaran; Kumar; Gonzalez-Hernandez, 2020). Dessa maneira, esses sistemas são capazes de melhorar a saúde e a resiliência do solo, de modo que essas melhorias são essenciais para áreas agrícolas, não apenas para manter a produção agrônômica, mas também para aproveitar os benefícios ambientais como sequestro de C e mitigação de GEE (King; Hofmockel, 2017; Cortner et al., 2019; Sarto et al., 2020a).

A implementação de sistemas de conservação, quando comparados com um sistema convencional de produção, reduzem a perturbação do solo e aumentam a cobertura de matéria orgânica na sua superfície, apresenta menor potencial de erosão, maiores níveis de C orgânico do solo e menor potencial de compactação, principalmente pelo fato de que sistemas convencionais apresentam menor cobertura do solo ao longo do ano nas áreas de cultivo, aliada à cobertura incompleta das áreas de pastagens (King; Hofmockel, 2017; Costa et al., 2018; Cortner et al., 2019; Sarto et al., 2020b). A atividade de pastoreio aumenta o estado de compactação da superfície do solo pelo efeito direto da pisada do animal, porém, nos SI há um efeito mitigador dessa situação (Nie et al., 2016; Ambus et al., 2018; Zago; Ramalho; Caramori, 2019; Sekaran; Kumar; Gonzalez-Hernandez, 2020).

Melhorias nos atributos químicos do solo foram observadas em sistemas ILP, apresentando maiores teores de fósforo (P), potássio (K), C orgânico no solo e N total (Costa et al., 2014; Denardin et al., 2020a; 2020b; Grahmann et al., 2020). Além disso, comparando ILP com o sistema de cultivo convencional, os resultados indicam que a adoção dessa tecnologia garante uma maior eficiência do uso de nutrientes, contribuindo para a diversificação e intensificação agrícola sustentável, garantindo maior rendimento na produção e menor dependência do uso de fertilizantes (Costa et al., 2014; Denardin et al., 2020a; 2020b; Grahmann et al., 2020). Também são observados benefícios nas propriedades físicas do solo, como: melhorias na densidade; porosidade; estabilidade dos agregados; e nos limites de consistência (Assis et al., 2015; Levinski-Huf; Klein, 2018)

SI, por conterem o componente forrageiro e/ou florestal e em virtude das melhorias nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo, têm potencial de contribuir para a retenção de C no solo e na biomassa madeireira, compensando consideravelmente as emissões de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), bem como a emissões geradas em virtude de operações agrícolas e utilização de insumos (Figura 1) (Figueiredo et al., 2017; Assad et al., 2019; Ribeiro et al., 2019).

Figura 1 - Fluxo de gases de efeito estufa em um sistema integrado



Fonte: Adaptado de Figueiredo et al. (2017)

Resíduos de cultivos devolvidos ao solo é o principal insumo na manutenção do C, que geralmente pode aumentar com a rotação diversificada de culturas em comparação com a monocultura, principalmente quando associados às práticas de manejo e conservação, isto ocorre porque essas práticas melhoram as condições do solo, enquanto que o cultivo de monocultura, sob o sistema convencional, ocasiona a perda de matéria orgânica e, conseqüentemente, compromete a qualidade desse importante recurso (Costa et al., 2018; Assad et al., 2019).

A diversificação da entrada de biomassa associada aos sistemas de plantio direto acentua o acúmulo de C em terras tropicais, respondendo com uma compensação de C, anualmente, em 24,4%, mas quando há integração com os componentes lavoura-pecuária-floresta, essa contribuição pode aumentar para 50% (Sá et al., 2017). A incorporação de um componente arbóreo em SI pode contribuir no sequestro de C entre 5,0 e 5,3 $Mg\ C\ ha^{-1}.ano^{-1}$, de modo que o balanço de GEE da produção de gado na ILPF pode ser reduzido substancialmente (Figueiredo et al., 2017; Pontes et al., 2018). A conversão de 42 milhões de hectares de pastagens degradadas em ILP ou ILPF, possui um potencial de mitigação de 230 milhões de toneladas de $CO_2eq.ano^{-1}$ (Costa et al., 2018; Pontes et al., 2018; Ribeiro et al., 2019; Assad et al., 2019).

Os solos têm um alto potencial para o acúmulo de C no curto prazo, mas uma redução dessa capacidade ocorre nos primeiros 20-30 anos após a adoção de sistemas de manejo adequados, assim, o efeito ao longo prazo sobre os GEE serão menos substanciais. Todavia, em solos tropicais e subtropicais, a acumulação de C ocorre em todo o perfil do solo, em profundidades de 30 a 100 cm, de forma que, se considerarmos as camadas mais profundas do solo, os benefícios do sequestro de C em solos tropicais e subtropicais, sob manejo conservacionista e pastoreio menos intensivo, podem, provavelmente, serem percebidos ao longo de várias décadas (Ribeiro et al., 2019).

O Brasil possui potencial para se tornar um sumidouro de C, e em um cenário em que o setor agrícola contribui fortemente para as emissões de GEE, o governo brasileiro, utilizando como referência a capacidade de redução de emissões em seus sistemas de produção, aprovou a Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009, instituindo a Política Nacional de Mudanças do Clima (Brasil, 2009), e durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), no mesmo ano, o governo brasileiro divulgou o seu compromisso voluntário de redução das emissões GEE no país, projetadas para 2020, entre 36,1% a 38,9%, reduzindo de 133,9 a 162,9 milhões de toneladas de CO_2eq (MAPA, 2012; Buller et al., 2015; Garrett et al., 2017; MAPA, 2018; Assad et al., 2019; Ribeiro et al., 2019).

Para a ILPF, a meta estabelecida para a sua expansão foi de 4 milhões de hectares, com um potencial de mitigar entre 18 e 22 milhões $Mg\ CO_2eq$, além do efeito “poupa-terra”, otimizando a taxa de lotação de animais por hectare (MAPA, 2012; Garrett et al., 2017; MAPA, 2018; Assad et al., 2019; Ribeiro et al., 2019). Entre 2010

a 2016, foi registrada uma expansão de 5,83 milhões de hectares em sistemas ILPF, superando a meta estabelecida no Plano ABC em 146%, e considerando um fator de mitigação para a tecnologia ILPF de 3,79 Mg CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹, essa expansão contribuiu com o sequestro de 22,1 milhões Mg CO₂eq, conforme observado na Tabela 1 (MAPA, 2018).

Tabela 1 - Avaliação dos sistemas de integração no âmbito do Plano ABC

Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)		
	Compromissos ¹ (milhões ha)	4
Metas do Plano ABC	Potencial de Mitigação da Tecnologia (milhões Mg CO ₂ eq.)	18 a 22
	Área total (milhões ha)	12,61 ^{2*}
Expansão da adoção da tecnologia	Expansão da adoção no período (milhões ha)	5,83 [*]
	% atingida em relação à meta do Plano ABC	146%
	Período avaliado	2010 a 2016
Estimativas de Mitigação	Fator emissão (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	3,793
	Mitigação (milhões Mg CO ₂ eq.)	22,11 [*]
	% média atingida em relação à média da meta do Plano ABC	111%

Legenda: ¹Compromisso estabelecido no Plano ABC em área estimada (em milhões ha) para expansão da adoção das tecnologias; ²Dados da Rede ILPF e da Plataforma ABC (2016) e do IBGE (2018); *Dados apresentados na Nota Técnica de Estimativas Periódicas da Plataforma ABC

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2018)

Além disso, a integração dos sistemas agropecuários se mostra mais atrativa em locais que dependem fortemente de insumos externos, e quando esses são mais caros, uma vez que as melhorias ambientais proporcionadas por esses sistemas reduzem, por exemplo, gastos com fertilizantes em média de 15% a menos do que em sistemas convencionais (Garrett et al., 2017; Costa et al., 2014; Denardin et al., 2020a; 2020b; Grahmann et al., 2020).

Em termos de produção de biomassa, verifica-se a persistência da produção mesmo durante a estação seca, quando a capacidade de suporte das pastagens convencionais normalmente cai e contribuiu para a perda de peso do gado, nos SI é observado o aumento da produtividade média do gado em até três vezes, contribuindo para um retorno econômico maior (Gil; Siebold; Berger, 2015).

Também se observa maior acúmulo de forragem em áreas ILP e ILPF do que em comparação com áreas de cultivo tradicional, de modo que os SI podem suportar níveis semelhantes ou maiores, de produção animal, do que as monoculturas de paliçada, ao mesmo tempo em que aumentam a diversidade de produtos (Carvalho et al., 2019). De forma geral, a complementariedade dos SI ajuda a mitigar flutuações adversas nas condições sazonais e de mercado, conseqüentemente, se espera que a produtividade e a lucratividade sejam maiores na integração (Nie et al., 2016; Wruck; Behling; Lange, 2019).

O consórcio de culturas é uma opção lucrativa para o negócio agrícola, pois à medida em que a área da fazenda consorciada aumenta, os retornos econômicos também aumentam, enquanto a variabilidade (risco) em relação aos retornos mais elevados diminui, devido à maior diversificação dos fluxos de renda (Nie et al., 2016). A variação de ciclos de produção entre os diferentes componentes da integração e, conseqüentemente, o retorno econômico mais rápido da lavoura, transforma esse elemento o principal amortizador do aporte financeiro inicial do sistema ILPF. Em um SI quanto maior for à receita líquida da componente lavoura nos primeiros anos de implementação, menor será o tempo de retorno do investimento inicial (Wruck; Behling; Lange, 2019)

Esse é um fator relevante, pois tanto viabiliza produtores de grãos entrarem na pecuária, cujos custos iniciais para se adaptar ao novo meio de produção são elevados, quanto para os pecuaristas na reestruturação das pastagens utilizando a lavoura (Wruck; Behling; Lange, 2019). Ao mudar de um único foco produtivo, os agricultores podem

reduzir sua exposição às flutuações de preço, bem como ajudar a distribuir os fluxos de renda ao longo do ano (Gil; Siebold; Berger, 2015; Cortner et al., 2019). Entretanto, os benefícios econômicos dos SI também dependem do contexto em que os produtores rurais estão envolvidos, dependendo de mercados, tecnologias e políticas existentes em uma determinada região, que influenciam os custos e os preços de produção (Garrett et al., 2017).

Outro fator relevante da componente lavoura são os seus efeitos sociais, pois o setor demanda grande quantidade de mão-de-obra, representando o maior gerador de empregos entre os componentes da integração e, conseqüentemente, é o maior distribuidor de riqueza e renda nos SI. A receita líquida inicial obtida com o cultivo torna-se ainda mais relevante quando há associação com a silvicultura, pois os investimentos iniciais com aquisições de insumos até as primeiras receitas do componente florestal são altos, podendo inviabilizar o investimento para pequenos e médios produtores rurais. Na ILPF o reflorestamento também pode ser usado para compensar os custos associados ao cumprimento do passivo ambiental legal (Wruck; Behling; Lange, 2019).

2 DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS

2.1 Custos para a implementação dos sistemas integrados

No que diz respeito às modificações necessárias nas propriedades rurais para a implementação das diferentes modalidades dos SI e aos custos associados a transição da agricultura convencional para a integração, a introdução da silvicultura é a que acarreta os custos mais elevados, além do número médio de funcionários por hectare, que é maior entre os adotantes de SI, o que pode resultar em uma necessidade maior de contratação entre os adotantes desses sistemas (Gil; Siebold; Berger, 2015). A integração é frequentemente percebida pelos produtores rurais, como um meio de produção que envolve maior mão de obra e trabalhadores mais qualificados, refletindo em custos iniciais mais altos do que sistemas especializados, embora o retorno sobre o investimento tenha se mostrado mais rápido e maior nos SI do que os investimentos em sistemas especializados (Cortner et al., 2019; Wruck; Behling; Lange, 2019; Garrett et al., 2020).

SI possuem maior custo de investimento, resultando em um fluxo de caixa negativo nos períodos iniciais, o que pode ser visto como uma barreira para aceitação desses meios de produção, já que produtores rurais percebem facilmente que esses sistemas têm altos custos iniciais e não possuem certeza de quanto tempo levará para o sistema pagar esse investimento (Reis et al., 2019; Garrett; Gil; Valentim, 2019; Garrett et al., 2017).

Muito pouco se sabe sobre os benefícios da resiliência para as diferentes formas de integração, ou seja, em termos de benefícios sociais líquidos, até o momento não houve um cálculo abrangente do valor econômico total, avaliando aspectos socioambientais e como esses se refletem na propriedade rural (Garrett et al., 2017). Contudo, pesquisas recentes demonstram que a integração dos diferentes componentes agropecuários é um investimento no uso da terra substancialmente melhor do que os sistemas de cultivo contínuo ou pecuária de uma perspectiva financeira sob os cenários de preços de safras existentes (Reis et al., 2019; Garrett et al., 2019).

3 ACESSO À INFRAESTRUTURA E CAPACITAÇÃO

Para um agricultor que possui um sistema de cultivo convencional, a adição dos componentes de pecuária e silvicultura aos seus sistemas de produção costuma ser bastante difícil, ao contrário de um produtor que já desenvolve essas atividades em subsistemas separados, pois, nesse caso, realizar a integração entre os diferentes componentes de produção será mais fácil, com menor necessidade de adaptação e custos, assim como menores riscos e barreiras na capacitação e conhecimento (Garrett; Gil; Valentim, 2019).

Pequenos produtores rurais muitas vezes não incorporam facilmente novas tecnologias devido aos baixos níveis de escolaridade e ausência de educação formal em áreas específicas das ciências agrárias ou em gestão, de forma que muitas vezes, o gerenciamento da fazenda é intuitivo. É comum que pecuaristas apresentem um perfil com menos acesso à tecnologia, o que pode representar em uma dificuldade na aceitação e implementação de alguma modalidade de integração (Gil; Siebold; Berger, 2015). A formação de uma rede de relacionamentos para esses produtores é útil para a comercialização, aquisição de suprimentos, auxílio em serviços esporádicos, serviços de saúde animal e incorporação de tecnologias ao sistema (Bendahan et al., 2018).

Uma dificuldade comumente relatada entre os adotantes dos sistemas ILPF é a dificuldade em encontrar trabalhadores qualificados e os altos preços dessa mão-de-obra, de forma que esses obstáculos se tornam incentivos para que os produtores se especializem em uma única cultura ou apenas na criação de animais (Garrett; Gil; Valentim, 2019; Gil; Siebold; Berger, 2015). Melhores programas de treinamento rural são necessários para fornecer uma força de trabalho adequada para trabalhar em SI, assim como uma maior troca de conhecimento entre os agricultores e outras partes interessadas (Cortner et al., 2019).

Associações profissionais sugerem maior exposição às últimas inovações, e o contato com colegas que já implementaram novas práticas definitivamente aumentam as chances de adoção de SI, assim como o fato de as associações de trabalhadores frequentemente promovem reuniões técnicas, treinamentos e outras oportunidades de prestação de suporte técnico (Gil; Siebold; Berger, 2015).

A disponibilidade de recursos humanos qualificados, com habilidades técnicas adequadas, é um fator chave que limita a adoção mais ampla dos sistemas de ILPF (Garrett; Gil; Valentim, 2019). Para encorajar a adoção de SI, políticas públicas são necessárias para melhorar o acesso à infraestrutura da cadeia de abastecimento de cultivo, fornecendo maiores incentivos para os pequenos produtores rurais, como empréstimos a juros baixos, para a compra de maquinários e financiamento para a adaptação da infraestrutura em propriedades rurais (Cortner et al., 2019).

4 PREFERÊNCIAS POR OUTROS MODOS DE PRODUÇÃO

Apesar de agricultores e pecuaristas conhecerem os potenciais benefícios dos SI, percepções negativas sobre o mercado e auxílios governamentais favorecem a adoção de sistemas tradicionais. Entre as dificuldades para adoção da tecnologia ILPF destacam-se: a ausência de programas de treinamento e extensão; preço de commodities baixo e de insumos altos; dificuldades e atrasos na aquisição de empréstimos para adoção desses sistemas, compra de maquinários e realização de melhoras nas propriedades (Cortner et al., 2019; Garrett; Gil; Valentim, 2019).

O aumento da idade média, a baixa escolaridade, a percepção de que SI são mais difíceis de serem gerenciados e a permanência de práticas como o corte de árvores e a realização de queimadas para o avanço da fronteira agrícola, são outros motivos que dificultam a internalização, compreensão e adoção dos sistemas ILPF (Bendahan et al., 2018). Agricultores com grandes propriedades, com uma rede de relacionamento interpessoal e perfil de liderança em sua comunidade, veem a integração como uma oportunidade de inovar e melhorar sua adaptabilidade às condições de mercado e governança, porém agricultores mais “tradicionais”, pequenos e médios agricultores, preferem manter o estilo de vida atual, mesmo que isso resulte em um menor retorno econômico (Cortner et al., 2019).

É comum que em propriedades rurais, as atividades de pecuária e lavoura estejam inseridas em um contexto social de legado, em que tais atividades são repassadas de geração para geração, representando uma sensação de segurança e bem-estar, de forma que essa característica cultural amortece os benefícios assimilados da integração dos componentes agrícolas por parte dos produtores, promovendo aversão a esses meios de produção. A adoção de uma tecnologia exige uma mudança substancial de comportamento, porém, essa mudança só é possível se as vantagens percebidas, dos SI, forem maiores em relação aos sistemas atuais (Garrett; Gil; Valentim, 2019; Cortner et al., 2019). Portanto, a cultura é primordial na influência pelas preferências relacionadas ao SI e ao acesso a informações sobre esse modo de produção, pois as tradições dos agricultores em usar sistemas de produção convencionais e o prestígio social associado as diferentes formas de agricultura e experiências históricas com sistemas de cultivo convencionais, também são motivadores importantes para conservar comportamentos e meios de produção já existentes (Garrett et al., 2017).

5 OPORTUNIDADES

5.1 Pesquisa, desenvolvimento e inovação em sistemas integrados

Para a realização do levantamento de estudos publicados referentes aos SI, considerou-se o período de 2010 a 2020, utilizando os termos “*livestock-forest* OR crop-livestock-forest* OR crop-livestock OR crop-forest**” localizados em títulos, resumo ou palavras-chave. No total, foram encontradas 1429 publicações na base de dados

Scopus e 1203 na base de dados *Web of Science*. Tal intervalo, 2010-2020, foi admitido por se considerar o período de projeção de redução de GEE pelo Brasil, e os avanços legislativos referentes a política de implementação da ILPF e a elaboração do Plano ABC. Contudo, verificou-se um número relevante de publicações, também, em outros países, demonstrando que diferentes estudos têm sido conduzidos em diversas localidades com vários enfoques, com destaque para as áreas de agricultura, ciências biológicas, ciências ambientais e veterinária.

Em ambas as plataformas, o Brasil é o país com maior número de estudos publicados, representando 43,38% das publicações na *Scopus* e 44,39% na *Web of Science*. O fato do Brasil ser aquele que mais vem contribuindo com o desenvolvimento de pesquisas no âmbito dos sistemas ILPF pode ser justificado pelo período analisado, já que, conforme mencionado anteriormente, esse intervalo equipara-se ao período em que o país assinou seu compromisso voluntário de redução das emissões GEE e passou a desenvolver políticas de incentivo para atingir as metas estabelecidas, e pelo fato de que a ILPF é uma tecnologia fortemente desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Essa instituição é a principal responsável pela pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D&I) em SI, por consequência é a afiliação que possui maior número de publicações, tanto na *Scopus* como na *Web of Science*. A Embrapa auxilia no processo de transferência de tecnologia (TT), para que os conhecimentos sobre ILPF existentes, na própria Embrapa ou em outras instituições de ensino e pesquisa, sejam mais rapidamente absorvidos (Costa et al., 2018).

Em 2012, a Embrapa em associação com as empresas Bradesco, Ceptis, Cocamar, John Deere, Soesp, Syngenta deram origem à Rede ILPF, que tem como objetivo de acelerar a adoção das tecnologias de ILPF, para tal, essas associações apoia 16 Unidades de Referência Tecnológica (URT) e 12 Unidades de Referência Tecnológica e de Pesquisa (URTP), envolvendo a participação de 22 Unidades de Pesquisa da Embrapa, o que também justifica o maior número de publicações pelo Brasil e Embrapa (Costa et al., 2018; REDE ILPF, 2020).

As temáticas das pesquisas realizadas em SI são diversas. Estudos procuram entender os efeitos sinérgicos da integração no solo, em sua fertilidade, fluxos de nutrientes, biodiversidade microbiana e em seus aspectos físicos (Borges; Calonego; Rosolem, 2019 ; Walkup et al., 2020; Terefe et al., 2020; Rocha et al., 2020; Galindo et al., 2020; Piano et al., 2020), e avaliar sua viabilidade econômica e como meio de intensificação do uso da terra (Reis et al., 2019; Ryschawy et al., 2019; Wachter et al., 2019; Wiesner et al., 2020). Outras pesquisas procuram compreender como a interação entre os diferentes componentes da integração podem contribuir ou atrapalhar na produtividade (Magalhães et al., 2020; Marques et al., 2020; Santos et al., 2020).

Observam-se várias pesquisas que tratam os efeitos ambientais e econômicos dos SI, porém, poucos artigos discutem como ocorre a aceitação desses meios de produção por parte dos produtores rurais e como é feita a identificação de barreiras para a sua adoção, de modo que pouco se percebe os aspectos sociais no âmbito dos sistemas ILPF (Carauta et al., 2018; Cortner et al., 2019; Carrer et al., 2020; Garrett et al., 2020).

Os atores institucionais de ensino e pesquisa necessitam expandir experimentações em campo e fazendas de demonstração e se esforçarem mais para reunir, organizar, sintetizar e disseminar informações sobre resultados de ILPF bem-sucedidos, pois é comum que produtores rurais, que ainda não tenham implementando a integração, sintam falta de ter assistência técnica especializada disponível, relatam dificuldade em obter acesso aos dados de pesquisas desenvolvidas, informação e conhecimento (Cortner et al., 2019; Garrett et al., 2020).

Verifica-se que os estudos científicos apresentam escalas temporais e espaciais pequenas, com uma abordagem pouco sistêmica e holística, o que indica a necessidade da formação de equipes de pesquisa multidisciplinares, de modo que haja a vinculação de dados de produção, aspectos sociais, econômicos e ambientais, assim como o desenvolvimento de modelos de pesquisas em escalas comparáveis, para uma abordagem mais fidedigna dos SI (Moraes et al., 2014b; Garrett et al., 2017).

6 PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

Na tentativa de incentivar que proprietários de terra adotem práticas de proteção e recuperação ambiental, entidades públicas e privadas têm procurado financiar programas referentes ao pagamento por serviços ambientais (PSA) (Aguilar-Gómez et al., 2020; Wunder et al., 2020). PSA pode ser definido como transações monetárias voluntárias entre quem presta o serviço e quem o recebe, ou seja, um serviço ambiental é prestado através de

condições e regras previamente acordadas entre as partes, de modo que o pagamento pelo serviço só é efetivado se as condições estabelecidas anteriormente forem atendidas (Muradian et al., 2010; Aguilar-Gómez et al., 2020; Wunder et al., 2020).

É comum que serviços “ambientais” e “ecossistêmicos” sejam usados como sinônimos, no entanto, serviços ecossistêmicos tratam-se, exclusivamente, dos benefícios humanos derivados dos ecossistemas naturais, enquanto serviços ambientais também incluem benefícios associados a diferentes tipos de ecossistemas gerenciados, como por exemplo, práticas agrícolas sustentáveis (Aguilar-Gómez et al., 2020).

SI podem melhorar o desempenho dos serviços ambientais dentro e fora das propriedades rurais, de modo que o reconhecimento ao longo prazo desses benefícios e o pagamento por serviços ambientais são vistos como fatores estimulariam a adoção desses sistemas (Cortner et al., 2019; Garrett et al., 2020). A diminuição da valorização de atividades que degradam os solos, polui recursos hídricos e levam ao desmatamento em virtude da valorização do desenvolvimento de atividades produtivas mais sustentáveis é fundamental para a utilização do PSA como meio de incentivar a implementação da integração. O PSA pode ainda, servir como fonte renda para as famílias e para complementação de recursos, e auxiliar nos custos para criação e implantação de sistemas produtivos agrícolas e florestais com foco conservacionista SI (Muradian et al., 2010; Cortner et al., 2019; Aguilar-Gómez et al., 2020; Wunder et al., 2020).

7 FORMAS DE DIFUSÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS

A decisão de adotar uma nova tecnologia é baseada nas expectativas individuais, que ocorrem quando os benefícios esperados com a adoção dessa tecnologia, superam os custos dessa decisão, nesse caso, a disponibilidade de recursos financeiros é um fator crucial no processo de decisão dos produtores rurais, sendo assim, o crédito rural é essencial para atender à demanda de capital adicional requisitada para implementação da ILPF. A implementação do SI também é determinada pelo acesso ao serviço de extensão rural, já que, o apoio técnico e gerencial prestado pela extensão rural auxilia na transferência de informações e redução da percepção de risco em relação à adoção da integração. A combinação de crédito e serviço de extensão rural apresentam-se como uma poderosa ferramenta para a aceleração da difusão do SI (MAPA, 2018; Carrer et al., 2020).

A oferta de crédito rural subsidiado tem sido a principal política do governo federal brasileiro para acelerar a difusão de inovações na agricultura. No período de 2010 a 2019 o governo autorizou 34.271 contratos dentro da linha de crédito denominada Programa ABC, disponibilizando R\$ 27,67 bilhões de reais (MAPA, 2018; Carrer et al., 2020). Porém, melhorias como redução da burocracia e simplificação do acesso ao crédito são necessárias, assim como a ampliação dos programas de TT e melhoria da assistência rural, para impulsionar a adoção de SI (Reis et al., 2020).

As instituições devem aumentar a troca de conhecimento entre fazendas bem-sucedidas e produtores, além de buscarem trabalhar em conjunto com eles, para desenvolver e disseminar formas dos SI (Garrett et al., 2020). Quanto mais rápida a difusão de informações sobre os benefícios da integração entre adotantes e não adotantes, mais rápida será sua difusão (Carrer et al., 2020). Existe um conjunto de meso-instituições que se complementam para promover a difusão da ILPF, que desempenham papéis importantes em sua disseminação, como a compreensão e implementação de regras provenientes das macro-instituições, fornecimentos de incentivos para adoção dos SI, acompanhamento das ações de divulgação, capacitação, P, D&I e TT, monitoramento das áreas em integração e fornecer feedback para propor melhorias (Vinholis et al., 2021).

Os mecanismos desenvolvidos pelas meso-instituições servem para moldar o desenvolvimento e a utilização de tecnologias, a maneira como esse processo progride irá refletir no nível de desempenho dos SI e seus serviços ambientais gerados. A Embrapa, por exemplo, em conjunto com algumas cooperativas de agricultores e serviços de extensão tem se unido para treinar, aprimorar as habilidades e disseminar o conhecimento referente aos SI, de forma que essas informações podem ser replicadas a outros agricultores, o que pode aumentar o interesse por esses meios de produção e a sua difusão (Vinholis et al., 2021).

O Programa ABC também pode ser melhorado para apoiar a ampliação da capacidade das instituições financeiras, a fim de agilizar e assegurar maior efetividade nos financiamentos atuais e futuros (Garrett; Gil; Valentim, 2019). As instituições desempenham um papel fundamental na difusão dos SI, a sinergia e

complementaridade de incentivos econômicos, redução de riscos e capacitação, se destacam na atuação primordial de entidades para a disseminação de tecnologias agrícolas sustentáveis, portanto, novas organizações podem ser criadas para complementar as estruturas existentes, a fim de promover a adoção dos SI, ajudando na reformulação e criação de novos regulamentos que encorajem e favoreçam a implementação de tais tecnologias (Vinholis et al., 2021).

8 PERSPECTIVAS

Os efeitos da mitigação de GEE são dependentes da intensificação dos SI e do tipo de sistema, porém, apesar do seu potencial de redução, poucos dados de análise de ciclo de vida estão disponíveis para avaliar esse potencial sistematicamente em todos os sistemas de produção. As emissões de N₂O e os fluxos do ciclo do N nesses sistemas também são pouco esclarecidos (Brewer; Gaudin, 2020; Garrett et al., 2017).

Há a necessidade de melhor comparação e compreensão entre as implicações de poluição dos SI com sistemas convencionais de produção, assim como a diferenciação na capacidade de resiliência a estresses climáticos e aos efeitos de pragas e doenças entre esses diferentes modos de produção e melhor compreensão dos efeitos da integração sobre o bem-estar animal, parasitismo em rebanhos e avaliação de sistemas que contenham mais de uma espécie animal em integração (Garrett et al., 2017; Garrett; Gil; Valentim, 2019).

A ILPF pode ser vista como uma tecnologia inovadora dentro de um cenário de regime agrícola já bem estabelecido, o que amortece a aceleração da difusão desses modos de produção. Pesquisas futuras podem verificar se há oportunidades suficientes para permitir que a inovação em ILFP acelere e se estabilize em uma nova conduta agrícola (Cortner et al., 2019). Uma abordagem holística que integra fatores ambientais, culturais, governamentais e econômicos permite preencher lacunas do conhecimento relevantes como fornecer dados que promovam e que proponham melhorias que se tornem estratégias eficazes para encorajar a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis (Garrett et al., 2017; Cortner et al., 2019).

Garrett et al. (2017), sugerem a criação de um protocolo de pesquisa e amostragem para estudos futuros, que pode ser aplicado em censos agrícolas, por exemplo, contendo perguntas sobre o uso dos vários tipos de ILPF, de forma que a comparação entre os diferentes sistemas será facilitada. Para isso, os autores também sugerem protocolos de medição comuns para aplicação em sistemas semelhantes em níveis de organização e duração. Essas ações permitirão compreender melhor os conhecimentos existentes e troca de informações acerca das lições aprendidas.

CONCLUSÃO

Em virtude da relevância dos SI como alternativa sustentável de produção agropecuária e o reconhecimento de seus potenciais benefícios, seja por parte dos produtores rurais, governo e pesquisadores, a abordagem referente as suas principais vantagens, os empecilhos de sua disseminação e as oportunidades para que essa tecnologia seja amplamente aceita e adotada, é fundamental para reforçar as percepções positivas sobre esses sistemas, indagar o que ainda precisa ser melhor compreendido e apontar novos caminhos que ampliem estratégias que favoreçam a difusão dos SI.

A capacidade da integração em melhorar os atributos relacionados à qualidade do solo contribui para a recuperação de pastagens degradadas, aumento da produtividade e sequestro de C, sendo que esse último fator pode ser intensificado com a adição do componente florestal, resultando em maiores ganhos na redução das emissões de GEE, tornando os SI uma tecnologia viável para intensificação do uso da terra e agricultura de baixo C.

As principais dificuldades verificadas estão relacionadas com os custos iniciais para adaptação das propriedades e o acesso a capacitação. Todavia, essas barreiras podem ser minimizadas com o apoio de políticas públicas e governamentais que facilitem o acesso ao crédito rural diferenciado para os produtores rurais que desejam adotar a integração, assim como ofertar o PSA a esses produtores. Atores institucionais que atuam no ensino, pesquisa, desenvolvimento e inovação são essenciais para a transferência de tecnologia e conhecimento aos agricultores e pecuaristas, assim como uma rede de assistência e extensão rural bem estabelecida.

As oportunidades aqui apontadas podem servir como estímulo para que pesquisas e estudos continuem sendo realizados progressivamente, com o objetivo de evidenciar a sinergia, não só entre os diferentes componentes da integração, mas também entre os elementos sociais e econômicos que possam alavancar o entendimento e a aceitação desses sistemas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, processo 88887.492964/2020-00.

REFERÊNCIAS

- Aguilar-Gómez, C. R.; Arteaga-Reyes, T. T.; Gómez-Demetrio, W.; Ávila-Akerber, V. D.; Pérez-Campuzano, E. (2020). Differentiated payments for environmental services: A review of the literature. *Ecosystem Services*, v. 44, p. 10113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101131>.
- Alves, B. J. R.; Madari, B. E.; Boddey, R. (2017). Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, p. 1–4. doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9851-0>.
- Alves, L. A.; Denardin, L. G. O.; Martins, A. P.; Bayer, C.; Veloso, M. G.; Breem, C.; Carvalho, P. C. F.; Machado, D. R.; Tiecher, T. (2020). The effect of crop rotation and sheep grazing management on plant production and soil C and N stocks in a long-term integrated crop-livestock system in Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 203, p. 104678. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104678>.
- Ambus, J. V.; Reichert, J. M.; Gubiani, P. I.; Carvalho, P. C. F. (2018). Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. *Geoderma*, v. 330, p. 232–243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.005>.
- Assad, E. D.; Martin, S. C.; Cordeiro, L. A. M.; Balbino, A. E. (2019). Sequestro de C e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G.; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (eds.). (2019). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*, Brasília: Embrapa. p. 155-167.
- Assis, P. C. R.; Stone, L. F.; Medeiros, J. C.; Madari, B. E.; Oliveira, J. M.; Wruck, F. J. (2015). Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 309–316. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.
- Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Porfírio-Da-Silva, V.; Moraes, A.; Martínez, G. B.; Alvarenga, R. C.; Kichel, A. N.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.; Franchini, J. C.; Galerani, P. R. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1-12. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>.
- Balbino, L. C.; Barcellos, A. O.; Stone, L. F. (2011). *Marco Referencial: integração lavoura-pecuária floresta*. Brasília: Embrapa. 130 p.
- Bendahan, A. B.; Pocard-Chapuis, R.; Medeiros, R. D.; Costa, N. L.; Tourrand, J. F. (2018). Management and labour in an integrated crop-livestock-forestry system in Roraima, Brazilian Amazonia. *Cahiers Agricultures*, v. 27, n. 2, p. 25005. doi: <https://doi.org/10.1051/cagri/2018014>.
- Bieluczyk, W.; Piccolo, M. C.; Pereira, M. G.; Moraes, M. T.; Soltangheisi, A.; Bernardi, A. C. C.; Pezzopane, J. R. M.; Oliveira, P. P. A.; Moreira, M. Z.; Camargo, P. B.; Dias, C. T. S.; Batista, I.; Cherbin, M. R. (2020). Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. *Geoderma*, v. 371, p. 114368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114368>.
- BRASIL. *Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009* (2009). Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.html. Acesso em: 27 out. 2020.

- BRASIL. *Lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013* (2013). Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e altera a Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112805.html. Acesso em: 18 out. 2020.
- Brewer, K. M.; Gaudin, A. C. M. (2020). Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 149, p. 107936. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107936>.
- Borges, W. L. B.; Calonego, J. C.; Rosolem, C. A. (2019). Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. *Agroforestry systems*, v. 93, n. 6, p. 2111-2119. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>.
- Buller, L. S.; Bergier, I.; Ortega, E.; Moraes, A.; Bayma-Silva, G.; Zanetti, M. R. (2015). Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, *Brazil. Agricultural Systems*, v. 137, p. 206–219. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.11.004>.
- Carrer, M. J.; Maia, A. G.; Vinholis, M. M. B. Souza Filho, H. M. (2020). Assessing the effectiveness of rural credit policy on the adoption of integrated crop-livestock systems in Brazil. *Land Use Policy*, v. 922, p. 104468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104468>.
- Carvalho, P. C. F.; Peterson, C. A.; Nunes, P. A. A.; Martins, A. P.; Souza Filho, W.; Bertolazi, V. T.; Kunrath, T. R.; Moraes, A.; Anghinoni, I. (2018). Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. *Journal of Animal Science*, v. 28;96, n. 8, p. 3513-3525. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/jas/sky085>.
- Carvalho, P.; Domiciano, L. F.; Mombach, M. A.; Nascimento, H. L. B.; Cabral, L. S.; Sollenberger, L. E.; Pereira, D. H.; Pedreira, B. C. (2019). Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass and Forage Science*, v. 74, p. 650–660. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12448>.
- Cerri, C. C.; Moreira, C. S.; Alves, P. A.; Raucci, G. S.; Castigioni, B. A.; Mello, F. F. C.; Cerri, D. G. P.; Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the state of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, n. 4, p. 2593-2600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.072>.
- Cortner, O.; Garrett, R. D.; Valentim, J. F.; Ferreira, J.; Niles, M. T.; Reis, J.; Gil, J. (2019). Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, v. 82, p. 841-853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.006>.
- Costa, M. P.; Schoeneboom, J. C.; Oliveira, S. A.; Viñas, R. S.; Medeiros, G. A. (2018). A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, v. 171, p. 1460e1471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.063>.
- Denardin, L. G. O.; Martins, A. P.; Carmona, F. C.; Veloso, M. G.; Carmona, G. I.; Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I. (2020a). Integrated crop-livestock systems in paddy fields: New strategies for flooded rice nutrition. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 2219– 2229. doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20148>.
- Denardin, L. G. O.; Martins, A. P.; Bastos, L. M.; Ciampitti, I. A.; Anghinoni, I.; Moojen, F. G.; Carvalho, P. C. F.; Huang, M.; Chabbi, A. (2020b). Soybean yield does not rely on mineral fertilizer in rotation with flooded rice under a no-till integrated crop-livestock system. *Agronomy*, v. 10, n. 9, p. 1371, 2020b. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091371>.
- Dong, S.; Shang, Z.; Gao, J.; Boone, R. B. (2019). Enhancing sustainability of grassland ecosystems through ecological restoration and grazing management in an era of climate change on Qinghai-Tibetan Plateau. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 287, p. 106684. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106684>.
- Figueiredo, E. B.; Jayasundara, S.; Bordonal, R. O.; Berchielli, T. T.; Reis, R. A.; Wagner-Riddle, C.; Scala Júnior, N. L. (2016). Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, n. 1, p. 420-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>.

- Galindo, F. S.; Delate, K.; Heins, B.; Phillips, H.; Smith, A.; Pagliari, P. H. (2020). Cropping system and rotational grazing effects on soil fertility and enzymatic activity in an integrated organic crop-livestock system. *Agronomy*, v. 10, n. 6, p. 803. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060803>.
- Garrett, R. D.; Ryschawy, J.; Bell, L. W.; Cortner, O.; Ferreira, J.; Garik, A. V. N.; Gil, J. D. B.; Klerkx, L.; Moraine, M.; Peterson, C. A.; Reis, J. C.; Valentim, J. F. (2020). Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecology and Society*, v. 25, n. 1, p. 24. doi: <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124>.
- Garrett, R. D.; Gil, J. D. B.; Valentim, F. V. (2019). Transferência de tecnologia: Desafios e oportunidades para adoção de ILPF na Amazônia Brasileira Legal. In: Bungenstab, D. J.; Almeida, R. G.; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (eds.). (2019). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília: Embrapa. p. 599-616.
- Garrett, R. D.; Koh, I.; Lambin, E. F.; Waroux, Y. L. P.; Kastens, J. H.; Brown J. C. (2018). Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 53, p. 233-243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>.
- Garrett, R. D.; Niles, M. T.; Gil, J. D. B.; Gaudin, A.; Chaplin-Kramer, R.; Assmann, A.; Assmann, T. S.; Brewer, K.; Faccio Carvalho, P. C. De; Cortner, O.; Dynes, R.; Garbach, K.; Kebeab, E.; Mueller, N.; Peterson, C.; Reis, J. C.; Snow, V.; Valentim, J. (2017). Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems*, v. 155, p. 136–146. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.003>.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. (2015). Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.008>.
- Grahmann, K.; Dellepiane, V. R.; Terra, J. A.; Quincke, J. A. (2020). Long-term observations in contrasting crop-pasture rotations over half a century: Statistical analysis of chemical soil properties and implications for soil sampling frequency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 287, p. 106710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106710>.
- Hendrickson, J. R. (2020). Crop-livestock integrated systems for more sustainable agricultural production: a review. *CAB Reviews*, v. 15, n. 12, p. 1-11. doi: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015012>.
- King, A. E.; Hofmockela, K. S. (2017). Diversified cropping systems support greater microbial cycling and retention of carbon and nitrogen. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 240, p. 66–76. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.040>.
- LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. *Atlas das pastagens brasileiras – 2018*. Disponível em: <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>. Acesso em: 18 out. 2020.
- Levinski-Huf, F.; Klein, V. A. (2018). Organic matter and physical properties of a Red Latosol under an integrated crop-livestock-forestry system. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, n. 3, p. 316-322. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852737>.
- Magalhães, C. A. S.; Zolin, C. A.; Lulu, J.; Lopes, L. B.; Furtini, I. V.; Vendrusculo, L. G.; Zaiatz, A. P. S. R.; Pedreira, B. C.; Pezzopane, J. R. M. (2020). Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Thermal Biology*, v. 91, p. 102636. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102636>.
- Marques, R. F.; Marchi, S. R.; Pinheiro, G. H. R.; Araújo, P. P. S.; Souza, R. M. (2020). Effect of eucalyptus proximity and weed presence on soybean grown in a CFI system. *Científica*, v. 48, n. 1, p. 41-48. doi: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n1p41-48>.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2012). *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)*. Brasília: MAPA/ACS.

- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Resumo da adoção e mitigação de gases de efeitos estufa pelas tecnologias do Plano ABC - Período 2010 a 2018*. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numericos>. Acesso em: 22 out. 2020.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Anghinoni, I.; Lustosa, S. B. C.; Costa, S. E. V.; Kunrath, T. R. (2014a). Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4–9. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>.
- Moraes, A.; Carvalho, P. C. F.; Lustosa, S. B. C.; Lang, C. R.; Deiss, L. (2014b). Research on integrated crop–livestock systems in Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45 (5spe), p. 1024–1031. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000500018>.
- Muradian, R.; Corbera, E.; Pascual, U.; Kosoy, N.; May, P. H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, v. 69, p. 1202–1208. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>.
- Nie, Z.; Mclean, T.; C., A.; Tocker, J.; Christy, B.; Harris, R.; Riffkin, P.; Clark, S.; Mccaskill, M. (2016). Benefits, challenges and opportunities of integrated crop–livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 235, p. 17–31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.002>.
- Piano, J. T.; Rego, C. A. R. M.; Vengen, A. P.; Egewarth, J. F.; Egewarth, V. A.; Mattei, E.; Oliveira, P. S. R.; Herrera, J. L. (2020). Soil organic matter fractions and carbon management index under integrated crop–livestock system. *Bioscience Journal*, v. 36, n. 3, p. 743–760. doi: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n3a2020-47702>.
- Pontes, L. S.; Barro, R. S.; Savian, J. V.; Berndt, A.; Moletta, L.; Porfírio-Da-Silva, V.; Bayer, C.; Carvalho, P. C. F. (2018). Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop–livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 253, p. 90–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>.
- Pretty, J.; Benton, T. G.; Bharucha, Z. P.; Dicks, L. V.; Flora, C. B.; Godfray, H. C. J.; Goulson, D.; Hartley, S.; Lampkin, N.; Morris, C.; Gary, P.; Prasad, P. V. V.; Reganold, J.; Rockström, J.; Smith, P.; Thorne, P. E. Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, v. 1, p. 441–446. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>.
- REDE ILPF. *O que é a rede*. Disponível em: <https://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/o-que-e-a-rede-ilpf>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- Reis, J. C.; Kamoi, M. Y. T.; Latorraca, D.; Chen, R. F. F.; Michetti, M.; Wruck, F. J.; Garrett, R. D.; Valentim, J. F.; Rodrigues, R. A. R.; Rodrigues Filho, S. (2019). Assessing the economic viability of integrated crop–livestock systems in Mato Grosso, Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*, p. 1–12. doi: <https://doi.org/10.1017/S1742170519000280>.
- Reis, J. C.; Rodrigues, G. S.; Barros, I.; Rodrigues, R. A. R.; Garrett, R. D.; Valentim, J. F.; Kamoi, M. Y. T.; Michetti, M.; Wruck, F. J.; Rodrigues Filho, S.; Pimental, P. E.; Smukler, S. (2020). Integrated crop–livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. *Journal of Cleaner Production*, p. 124580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124580>.
- Ribeiro, R. H.; Ibarra, M. A.; Besen, M. R.; Bayer, C.; Piva, J. T. (2019). Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated crop–livestock systems under no-till agriculture. *European Journal of Soil Science*, v. 71, p. 1120–1131. doi: <https://doi.org/10.1111/ejss.12904>.
- Ryschawy, J.; Moraine, M.; Péquignot, M.; Martin, G. (2019). Trade-offs among individual and collective performances related to crop–livestock integration among farms: a case study in southwestern France. *Organic Agriculture*, p. 18. doi: <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0237-7>.
- Rocha, K. F.; Kuramae, E. E.; Borges, B. M. F.; Leite, M. F. A.; Rosolem, C. A. (2020). Microbial N-cycling gene abundance is affected by cover crop specie and development stage in an integrated cropping system. *Archives of Microbiology*, v. 202, p. 2005–2012. doi: <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01910-2>.

- Santos, C. B.; Costa, K. A. P.; Souza, W. F.; Silva, A. G. (2020). Intercropping of sorghum with paiaguas palisadegrass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. *Australian Journal of Crop Science*, v.14, n.7, p.1072-1080. doi: <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.07.p2216>
- Sarto, M. V. M.; Borges, W. L. B.; Sarto, J. R. W.; Rice, C. W.; Rosolem, C. A. (2020a). Deep soil carbon stock, origin, and root interaction in a tropical integrated crop–livestock system. *Agroforestry Systems*, v. 94, p. 1865–1877. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00505-6>.
- Sarto, M. V. M.; Borges, W. L. B.; Sarto, J. R. W.; Pires, C. A. B.; Rice, C. W.; Rosolem, C. A. (2020b). Soil microbial community and activity in a tropical integrated crop-livestock system. *Applied Soil Ecology*, v. 145, p. 103350. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.08.012>.
- Sekaran, U.; Kumar, S.; Gonzalez-Hernandez, J. L. (2020). Integration of crop and livestock enhanced soil biochemical properties and microbial community structure. *Geoderma*, v. 381, p. 114686, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114686>.
- Silva, J. C. N.; Silva, A. R.; Veloso, C. A. C.; Dantas, E. F.; Sacramento, J. A. A. S. (2018). Aggregation, carbon, and total soil nitrogen in crop-livestock-forest integration in the Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 12, p. 837-842. doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p837-842>.
- Silva, J. T.; Costa, K. A. P.; Silva, V. C.; Souza, W. F.; Teixeira, D. A. A.; Severiano, E. C. (2020). Morphogenesis, structure, and dynamics of paiaguas palisadegrass tillering after intercropping with sorghum for the recovery of pasture in different forage systems. *Bioscience Journal*, v. 36, n. 5, p. 1663-1675. doi: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n5a2020-47747>.
- Terefe, H.; Argaw, M.; Tamene, L.; Mekonnen, K.; Recha, J.; Solom, D. (2020). Effects of sustainable land management interventions on selected soil properties in Geda watershed, central highlands of Ethiopia. *Ecological Processes*, v. 9, n. 14. doi: <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0216-2>.
- Vinholis, M. M. B., Saes, M. S. M.; Carrer, M. J.; Souza Filho, H. M. (2021). The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. *Journal of Cleaner Production*, v. 280, p. 124334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124334>.
- Wachter, J. M.; Painter, K. M.; Carpenter-Boggs, L. A.; Huggins, D. R.; Reganold, J. P. (2019). Productivity, economic performance, and soil quality of conventional, mixed, and organic dryland farming systems in eastern Washington State. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 286, p. 106665. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106665>.
- Walkup, J.; Freedman, Z.; Kotcon, J.; Morrissey, E. M. (2020). Pasture in crop rotations influences microbial biodiversity and function reducing the potential for nitrogen loss from compost. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 304, p. 107122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107122>.
- Wiesner, S.; Duff, A. J.; Desai, A. R.; Panke-Buisse, K. (2020). Increasing dairy sustainability with integrated crop–livestock farming. *Sustainability*, v. 12, n. 3, p. 765. doi: <https://doi.org/10.3390/su12030765>.
- Wruck, F. J.; Behling, M.; Lange, A. (2019). Produção da lavoura em sistemas de ILPF. In: BUNGENSTAB, D. J.; Almeida, R. G.; Laura, V. A.; Balbino, L. C.; Ferreira, A. D. (eds.). (2019). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. Brasília: Embrapa. p. 599-616.
- Wunder, S.; Börner, J.; Ezzine-De-Blas, D.; Feder, S.; Pagiola, S. (2020). Payments for environmental services: past performance and pending potentials. *Annual Review of Resource Economics*, v. 12, p. 209-234. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-094206>.
- Zago, L. M. S. M. S.; Ramalho, W. P.; Caramori, S. (2019). Does Crop-Livestock-Forest Systems contribute to soil quality in Brazilian Savannas?. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. 3, p. e20180343. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.034318>.